

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA – DEE

LUCAS SILVA SALES DO NASCIMENTO

ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM CARREGADOR EMBARCADO PARA
VEÍCULOS ELÉTRICOS

JOINVILLE

2025

LUCAS SILVA SALES DO NASCIMENTO

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM CARREGADOR EMBARCADO PARA
VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro
de Ciências Tecnológicas da Universidade do
Estado de Santa Catarina, como requisito parcial
para a obtenção do grau de Engenheiro Eletri-
cista

Orientador: Prof. Dr. Marcello Mezaroba

JOINVILLE

2025

Silva Sales do Nascimento, Lucas
ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM CARREGADOR EMBARCADO
PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS / Lucas Silva Sales do
Nascimento. - Joinville, 2025.
105 p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marcello Mezaroba.

.
Trabalho de conclusão de curso
(Graduação) - Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Tecnológicas, Bacharelado em
Engenharia Elétrica , Joinville, 2025.

1. Carregador Embarcado. 2. Implementação. 3. Veículo
Elétrico.

I. Mezaroba, Prof. Dr. Marcello. III. Universidade
do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Tecnológicas, Bacharelado em Engenharia Elétrica . IV.
Estudo e Implementação de um Carregador Embarcado para
Veículos Elétricos.

LUCAS SILVA SALES DO NASCIMENTO

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM CARREGADOR EMBARCADO PARA
VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro
de Ciências Tecnológicas da Universidade do
Estado de Santa Catarina, como requisito parcial
para a obtenção do grau de Engenheiro Eletri-
cista

Orientador: Prof. Dr. Marcello Mezaroba

BANCA EXAMINADORA:

Marcello Mezaroba
Universidade do estado de santa catarina

Membros:

Prof. Dr. Alessandro Luiz Batschauer
Universidade do estado de santa catarina

Jhon Brajhan Benites Quispe
Convidado

Joinville, 01 de maio de 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador, Prof. Marcello Mezaroba, pela oportunidade de trabalho nesse projeto, além de sua orientação durante o desenvolvimento do mesmo.

A todos os professores que me auxiliaram em diferentes partes do projeto, por meio de conselhos, recomendações e suporte.

Aos membros do projeto ELETRIFICA, principalmente ao José Victor, William dos Santos e Jhon que, apesar de trabalhos diferentes no mesmo projeto, seu desenvolvimento se passou por muito trabalho em equipe.

Ao Matheus Zucco e Gustavo Bauer, que, apesar de trabalhos diferentes e nenhuma ligação com o projeto, se disponibilizaram para me ajudar.

Aos amigos que fiz durante a graduação, que me acompanharam durante toda essa jornada.

Deixo um agradecimento especial aos meus pais, que sempre estiveram na torcida por mim, me apoiando ao longo de toda a minha trajetória. Sou grato à família unida que tenho, onde vem me dando apoio durante toda a minha vida.

“O mundo é das pessoas que sonham.”

— Charlie Brown Jr.

RESUMO

Devido à crescente demanda por veículos elétricos no mercado brasileiro, a conversão de veículos a combustão em elétricos tornou-se uma alternativa promissora no setor automotivo, visando acelerar o processo de descarbonização. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo implementar um sistema de carregamento lento no projeto de eletrificação de uma van, implantado em bancada no laboratório nMOB da UDESC. Dessa forma, o projeto foi desenvolvido mediante a seleção de um carregador embarcado da Dilong, refrigerado a ar e com potência de 6,6 kW, além da elaboração de uma placa capaz de gerenciar a recarga lenta do veículo, interagindo com a estação por meio do circuito de pino piloto (IEC 61851) e se comunicando com o carregador embarcado e o sistema de gerenciamento de bateria por meio da comunicação CAN (SAE J1939). Os testes na bateria foram validados por meio dos dados obtidos na comunicação CAN e dos valores médios medidos externamente, cujo tempo de carregamento no teste realizado foi de 3 horas (55% para 80% do estado de carga). A principal limitação foi a pendência na integração entre a unidade de controle veicular, no qual se concluiu que o sistema é funcional e adequado para aplicações reais, com potencial para acelerar a eletrificação de frotas existentes.

Palavras-chave: Veículos elétricos. Carregador embarcado. Conversão de veículos. Carregamento Lento.

ABSTRACT

Due to the growing demand for electric vehicles in the Brazilian market, the conversion of combustion-engine vehicles into electric vehicles has become a promising alternative in the automotive sector, aiming to accelerate the decarbonization process. In this context, this work aims to implement a slow charging system in the electrification project of a van, set up on a test bench at the nMOB laboratory of UDESC. Thus, the project was developed through the selection of an air-cooled 6.6 kW onboard charger from Dilong, as well as the design of a board capable of managing the vehicle's slow charging by interacting with the charging station via the pilot pin circuit (IEC 61851) and communicating with both the onboard charger and the battery management system through CAN communication (SAE J1939). Battery tests were validated using data obtained from CAN communication and average values measured externally, with a charging time of 3 hours (from 55% to 80% state of charge) in the test performed. The main limitation was the pending integration with the vehicle control unit, in which it was concluded that the system is functional and suitable for real applications, with potential to accelerate the electrification of existing fleets.

Keywords: Electric vehicles. Slow charging. On-board charger. Vehicle conversion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vendas de Veículos Elétricos	17
Figura 2 – Vendas de Veículos Elétricos no Brasil	18
Figura 3 – Estação de Recarga Rápida e Lenta	19
Figura 4 – Sistema Híbrido da Van ELETRIFICA	20
Figura 5 – Circuito Típico de Pino Piloto	26
Figura 6 – Circuito Típico do Pino de Proximidade	27
Figura 7 – Modelos de Conectores Veiculares mais Conhecidos	31
Figura 8 – Métodos de Corrente Constante e Tensão Constante	33
Figura 9 – Carga de Pulsos	33
Figura 10 – Exemplo de Sistema Propulsão	35
Figura 11 – OBC Bidirecional e Unidirecional	36
Figura 12 – OBC Bidirecional e Unidirecional	37
Figura 13 – Configurações de OBC: (a) Hella electronics/GaN systems, (b) tesla Model 3/Y, (c) Hyundai vehicle-to-device	40
Figura 14 – Sistema de um OBC Integrado Multi-fase	41
Figura 15 – Sistema de um OBC Integrado de Interface Adicional	41
Figura 16 – Estrutura de Composição Física de uma Rede CAN	42
Figura 17 – Barramento CAN	44
Figura 18 – Níveis Lógicos de Sinais Dominantes e Recessivos	44
Figura 19 – Quadros de dados CAN 2.0	45
Figura 20 – Estrutura PNG no ID CAN	48
Figura 21 – Bateria WEG - BPW01	50
Figura 22 – PDU	52
Figura 23 – FT450	53
Figura 24 – ECU Auxiliar	54
Figura 25 – Bancada TCC	55
Figura 26 – Plug Adquirido	56
Figura 27 – OBC Dilong DA20KM24-380S360C	58
Figura 28 – OBC Dilong DA10KM31E-380S360C	60
Figura 29 – OBC Dilong DA6K6M20C-360C	61
Figura 30 – Curva de Carga do RA6P6360	62
Figura 31 – OBC Ovar RA6P6360	63
Figura 32 – OBC Dilong DA3K3M17E	64
Figura 33 – Circuito Pino PP	70
Figura 34 – Circuito Pino CP	71
Figura 35 – Circuito com L293D	72
Figura 36 – Circuito APM	72

Figura 37 – Módulos MCP-2515	73
Figura 38 – Circuito de Alimentação	74
Figura 39 – Circuito de Medição de Temperatura	75
Figura 40 – Fluxograma Carga em Andamento e Carga não Iniciada	76
Figura 41 – Emergência, Alarme, Carga Interrompida e Carga Completa	77
Figura 42 – Módulo LCD	78
Figura 43 – Visões do Sistema de Exibição de Erros no Display LCD	79
Figura 44 – Esquema de ligação OBC	82
Figura 45 – Ligação OBC prática	83
Figura 46 – Tensões, Potências e Temperatura	83
Figura 47 – Correntes de Entrada, Saída e Referência	84
Figura 48 – Resultados Parciais – Tensões e Correntes da Fonte 360V	84
Figura 49 – Resultados Complementares – Leituras dos Pinos CP e PP	85
Figura 50 – Resultados de Entrada Teste Fonte	85
Figura 51 – Leitura de Injeção de Harmônicos na rede	86
Figura 52 – Valores da Saída	86
Figura 53 – Resumo Geral do Teste	87
Figura 54 – Medições de Entrada	87
Figura 55 – Tensões e Potências	88
Figura 56 – Correntes de Entrada e Saída	88
Figura 57 – Resultados Teste Fonte	89
Figura 58 – Potência de Carga e SOC	90
Figura 59 – Corrente e Tensão	90
Figura 60 – Rampas de Corrente na Recarga da Bateria	91
Figura 61 – Tensão e Corrente Durante a Carga da Bateria	91
Figura 62 – Temperatura da Bateria e do OBC	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais Informações Sobre Baterias de Lítio	24
Tabela 2 – Corrente máxima a ser consumida pelo veículo (continua)	27
Tabela 3 – Parâmetros de Valores para Resistência Rc	28
Tabela 4 – Resumo dos Modos de Carregamento	29
Tabela 5 – Limites Atuais de Emissão para Equipamentos que Não Sejam Equipamentos Trifásicos Balanceados	30
Tabela 6 – Modelos de Conectores Veiculares mais Conhecidos	31
Tabela 7 – Estrutura da Mensagem CAN	46
Tabela 8 – Estrutura do PGN no identificador J1939 (29 bits)	48
Tabela 9 – Características Técnicas da Bateria WEG - BPW01	49
Tabela 10 – Variável Status da Bateria BPW01	50
Tabela 11 – Comparação de Modelos de OBC	57
Tabela 12 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do DA20KM24 . . .	58
Tabela 13 – Principais Características do DA6K6M20C-360C	59
Tabela 14 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do DA10KM31E . .	59
Tabela 15 – Principais Características do DA10KM31E-380S360C	60
Tabela 16 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do DA6K6M20C . .	61
Tabela 17 – Principais Características do DA6K6M20C-360C	61
Tabela 18 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do RA6P6360 . . .	62
Tabela 19 – Principais Características do RA6P6360	63
Tabela 20 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do DA3K3M17E . .	64
Tabela 21 – Principais Características do DA3K3M17E	64
Tabela 22 – Comparação de Proteção de Temperatura	65
Tabela 23 – Sistemas de Proteção	66
Tabela 24 – Principais Normas Empregadas	66
Tabela 25 – Viabilidade	67
Tabela 26 – Estrutura dos Modelos	68
Tabela 27 – Descrição dos bits de erro	69
Tabela 28 – Códigos de Erro do Sistema	79
Tabela 29 – Análise das Leituras de Tensões do Pino PP	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACK	<i>Acknowledgment Error Check</i>
AEV	<i>All Electric Vehicle</i>
APM	<i>Auxiliary Power Module</i>
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BMCU	<i>Battery Management Control Unit</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
BYD	<i>Build Your Dreams</i>
CA	Corrente Alternada
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CAN_H	<i>Controller Area Network High</i>
CAN_L	<i>Controller Area Network Low</i>
CAN_FD	<i>Controller Area Network Flexible Data-Rate</i>
CAV	<i>Centro de Ciências Agroveterinárias</i>
CC	Corrente Contínua
CCT	Centro de Ciências Tecnológicas
CDS	<i>Charging Discovery System</i>
CF	Fator de Crista (<i>Crest Factor</i>)
CFP	Correção do Fator de Potência
CI	Circuito Integrado
CP	<i>Control Pilot</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection</i>
DAB	<i>Dual Active Bridge</i>
DLC	<i>Data Length Code</i>
DP	<i>Data Page</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
EOF	<i>End Of Frame</i>
EV	<i>Electric Vehicle</i>

EVSE	<i>EV Supply Equipment</i>
FCEV	<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>
FHEV	<i>Full Hybrid Electric Vehicles</i>
GB/T	<i>Guobiao Tuijian</i>
G2V	<i>Grid to Vehicle</i>
GWM	<i>Great Wall Motor</i>
ID	<i>Identifier</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IDE	<i>Identifier Extension</i>
IFS	<i>Inter Frame Space</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LC	Indutor-Indutor-Capacitor
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (não estava na lista, adicione se necessário)
LFP	Fosfato de ferro e lítio
LIN	<i>Local Interconnect Network</i>
LLC	Indutor-Indutor-Capacitor
LMO	óxido de lítio-manganês
LMU	<i>Local Monitoring Unit</i>
LTO	titanato de lítio
MCI	Motor de Combustão Interna
MCU	<i>Motor Control Unit</i>
ModBus	<i>Modular Bus</i>
NCA	óxido de alumínio, níquel, cobalto e lítio
NDA	<i>Non-Destructive Arbitration</i>
NMC	óxido de cobalto e manganês de lítio
nMOB	Laboratório de Mobilidade Elétrica
NRZ	<i>Non Return to Zero</i>
nPEE	Núcleo de Processamento de Energia Elétrica

OBD2	<i>On-Board Diagnostics two</i>
OBC	<i>Carregador On-Board</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PDU	<i>Power Distribution Unit</i>
PF	<i>Protocol Data Unit Format</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PGN	<i>Parameter Group Number</i>
PP	<i>Proximity Pilot</i>
PS	<i>Protocol Data Unit Specific</i>
PT	<i>Powertrain</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RX_CAN	<i>Receive CAN</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RTR	<i>Remote Transmission Request</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SOF	<i>Start Of Frame</i>
SOH	<i>State of Health</i>
SOC	<i>State of Charge</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SPN	<i>Suspect Parameter Numbers</i>
SRR	<i>Substitute Remote Request</i>
TCC	<i>Trabalho de Conclusão de Curso</i>
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>
TX_CAN	<i>Transmit CAN</i>
UDESC	<i>Universidade do Estado de Santa Catarina</i>
V2G	<i>Vehicle to Grid</i>
V2H	<i>Vehicle to Home</i>
V2L	<i>Vehicle to Load</i>
VCU	<i>Vehicle Control Unit</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO	19
1.3	PROPOSTA E JUSTIFICATIVA	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	VEÍCULOS TOTALMENTE ELÉTRICOS	22
2.1.1	Veículos Elétricos a Bateria	22
2.1.2	Veículo Elétrico com Célula de Combustível	22
2.2	VEÍCULOS HÍBRIDOS	23
2.2.1	Veículos Elétricos Híbridos Completo	23
2.2.2	Veículos Elétricos Híbridos <i>Plug In</i>	23
2.3	TECNOLOGIA DE BATERIAS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS	24
2.3.1	Sistema de Gerenciamento de Baterias	25
2.4	MODOS DE CARREGAMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS	25
2.4.1	ABNT IEC-61851-1	26
2.4.1.1	<i>Controle de Piloto</i>	26
2.4.1.2	<i>Piloto de Proximidade</i>	27
2.4.2	Modos de Carregamento Conforme a IEC-61851	28
2.4.2.1	<i>Modo 1</i>	28
2.4.2.2	<i>Modo 2</i>	28
2.4.2.3	<i>Modo 3</i>	29
2.4.2.4	<i>Modo 4</i>	29
2.4.3	Limites de Injeção de Harmônicos na Rede	29
2.4.3.1	<i>IEC 61000-3-12 (2004)</i>	30
2.5	TIPOS DE CONECTORES	30
2.5.1	Sistema de Travamento do Plug Fixo do Veículo	32
2.6	SISTEMA DE CARGA OBC PARA BATERIA LÍTIO	32
2.6.1	Métodologia Corrente Constante e Tensão Constante	32
2.6.2	Técnicas de Carregamento de Pulso	33
2.6.3	Métodologia de Circuitos Equivalentes e Modelos de Redes Neurais	33
2.6.4	Modelo Eletroquímico	34
2.7	MÓDULO DE POTÊNCIA AUXILIAR	34
2.8	SISTEMA PROPULSÃO	35
2.9	SISTEMAS UNIDIRECIONAIS E BIDIRECIONAIS DE OBC'S	35

2.10	TOPOLOGIAS DE OBC PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS	37
2.10.1	Dedicado	37
2.10.2	Integrados	40
2.11	UNIDADE DE CONTROLE DO VEÍCULO	41
2.12	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO CAN	42
2.12.1	Estrutura da Rede	42
2.12.2	Níveis Lógicos dos Sinais e Especificações	44
2.12.3	Formato das mensagens	45
2.12.4	Deteção de Falhas	46
2.12.5	Padrões Existentes em Diferentes Aplicações	47
2.13	SAE J1939	47
3	COMPONENTES DO SISTEMA DE RECARGA	49
3.1	BATERIA WEG - BPW01	49
3.1.1	Erros de Recarga	51
3.2	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA	52
3.3	FT 450	52
3.4	ECU AUXILIAR	53
3.5	BANCADA DE OPERAÇÕES	55
3.6	PLUG FIXO CCS COMBO2 TIPO 2	55
3.7	CONCLUSÃO DE CAPÍTULO	56
4	ANÁLISE DE OPÇÕES E ESCOLHA DO OBC	57
4.1	DA20KM24-380S360C	58
4.2	DA10KM31E-380S360C	59
4.3	DA6K6M20C-360C	60
4.4	RA6P6360	62
4.5	DA3K3M17E-360C	63
4.6	COMPARAÇÃO FINAL	65
4.6.1	Proteção Contra Temperaturas Elevadas	65
4.6.2	Principais Sistemas de Proteção	66
4.6.3	Normas Empregadas	66
4.6.4	Viabilidade dos Modelos	67
4.6.5	Estrutura dos Modelos Pré-selecionados	67
4.7	CONCLUSÃO	68
5	FUNCIONAMENTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES	69
5.1	RESUMO DE FUNCIONAMENTO DO OBC DA6K6M20C-360	69
5.1.1	Processo de comunicação	69
5.2	PROCESSO DE COMUNICAÇÃO DO BMS WEG	69

5.3	CIRCUITOS ELABORADOS NA ECU AUXILIAR	70
5.3.1	Circuito Pino PP	70
5.3.2	Circuito Pino CP	71
5.3.3	Circuito de Acionamento Motor de Intertravamento (Travamento do Plug)	71
5.3.4	Circuito Específico APM	72
5.3.5	Módulo de interpretação CAN	73
5.3.6	Alimentação dos Circuitos	74
5.3.7	Circuito de Medição de Temperatura DC	74
5.4	FUNCIONAMENTO GERAL DA ECU AUXILIAR	75
5.4.1	Carga não iniciada	75
5.4.2	Carga em Andamento	75
5.4.3	Alarme, Carga Interrompida ou Carga Completa	76
5.4.4	Emergência	77
5.4.5	Corrente de Referência	77
5.4.6	Exibição de Erros	78
5.5	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	80
6	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	81
6.1	TESTE DE LEITURA DO PINO CP	81
6.2	TESTE DE LEITURA DO PINO PP	81
6.3	TESTES REFERENTES AO OBC	82
6.3.1	Testes com Injeção de Energia na Rede	82
6.3.2	Testes com Injeção de Energia na Rede com Saída do OBC em 400 V e 340 V	87
6.3.3	Teste na Bateria	89
6.4	CONCLUSÃO DE CAPÍTULO	92
7	CONCLUSÃO DE TRABALHO	94
	REFERÊNCIAS	95
	ANEXO A – FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DA6K6M20C	99
	ANEXO B – SIGNIFICADO DAS FLAGS DE ERRORS E WARNINGS	100
	ANEXO C – ANALIZADOR DE ENERGIA HIOKI	101
	ANEXO D – FONTE BIDIRECIONAL RP7972A DA KEYSIGHT . .	102
	ANEXO E – ESQUEMA GERAL DA ECU AUXILIAR	103
	ANEXO F – ESTAÇÃO DE CARGA	104
	ANEXO G – ESQUEMA DA PLACA ECU	105

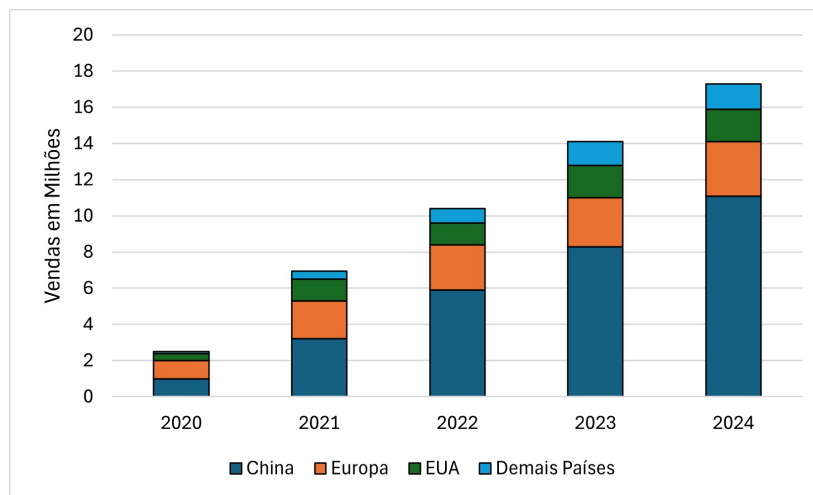
1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo visa realizar uma introdução geral ao trabalho, apresentando o contexto e a relevância do tema, além de expor o problema abordado, sua importância na atualidade e a solução proposta.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O avanço do mercado de Veículos Elétricos (EV)¹ tem demonstrado um crescimento notável em suas vendas, sendo impulsionado pelo avanço da tecnologia na área, como melhoria na eficiência energética das baterias e reduções expressivas em seus preços (IEA, 2025). Alguns países oferecem apoio governamental por meio de subsídios e redução de impostos, com o objetivo de buscar alternativas de transporte mais sustentáveis em relação aos combustíveis fósseis, além da necessidade de atender às crescentes metas e regulamentações ambientais. Embora as vendas de modelos elétricos ainda sejam predominantemente mais volumosas em mercados como a China, Europa e Estados Unidos, a Agência Internacional de Energia (IEA)² destaca uma rápida e significativa diversificação geográfica, com mercados emergentes na Ásia e América Latina emergindo como novos e importantes centros de crescimento, impulsionados, em parte, pela oferta de modelos mais acessíveis. A Figura 1 mostra o crescimento das vendas de veículos elétricos nos últimos três anos com um foco quadrimestral e geográfico.

Figura 1 – Vendas de Veículos Elétricos



Fonte: Adaptado de IEA (2025)

Como apresentado na Figura 1, ao longo dos anos a China vem dominando o mercado de EVs, onde em alguns semestres representam mais de 60% das vendas globais, segundo IEA (2025). Todo esse destaque está vinculado ao domínio nos setores de desenvolvimento de baterias e na cadeia de suprimentos de EVs, resultando na maior qualidade e ao preço acessível dos

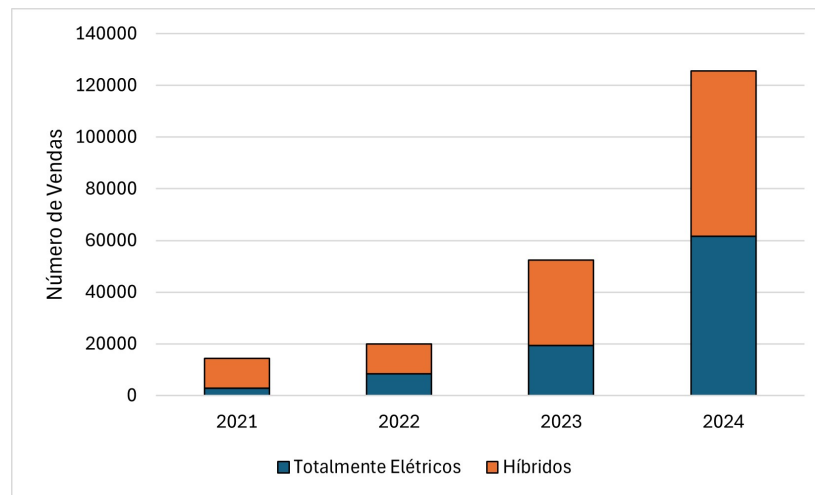
¹ Do inglês *Electric Vehicles*

² Do inglês *International Energy Agency*

veículos chineses, que têm sido bastante popularizados na Ásia e mantém um rumo de expansão na América Latina, África e Europa (NFE, 2024).

No Brasil, a eletrificação do transporte veicular pode trazer benefícios ambientais significativos, especialmente devido à matriz elétrica de baixo carbono do país, além de ajudar a reduzir a poluição do ar local. Além disso, as vendas de EVs no Brasil nos últimos 4 anos pode ser observado na Figura 2, cujo esse mercado tem sido impulsionado principalmente pela entrada de montadoras chinesas, como *Build Your Dreams* (BYD)³ e Great Wall Motor (GWM)⁴ (INVESTNEWS, 2024). Entretanto, a adoção de EVs tem sido lenta, em parte devido à priorização histórica de combustíveis à base de etanol desde a década de 1970, que foi uma estratégia para garantir a segurança energética em face de choques de petróleo (IEA, 2025).

Figura 2 – Vendas de Veículos Elétricos no Brasil



Fonte: Adaptado de ABVE (2025)

Junto do crescimento desse mercado, a conversão de veículos a combustão em elétricos "retrofit" tem-se tornado uma alternativa promissora para acelerar o processo de descarbonização, levando a uma readaptação das oficinas, onde algumas se especializaram nesse ramo, como a EVolution e Performcar na Europa (CHARGE GURU, 2023). No Brasil esse ramo de mercado ainda está se desenvolvendo, mas já existem exemplares desenvolvidos por meio de projetos como o Converte, da CELESC e ANEEL, incluindo versões elétricas da Fiat Fiorino, Strada e Renault Kwid (BRESOLIN, 2025).

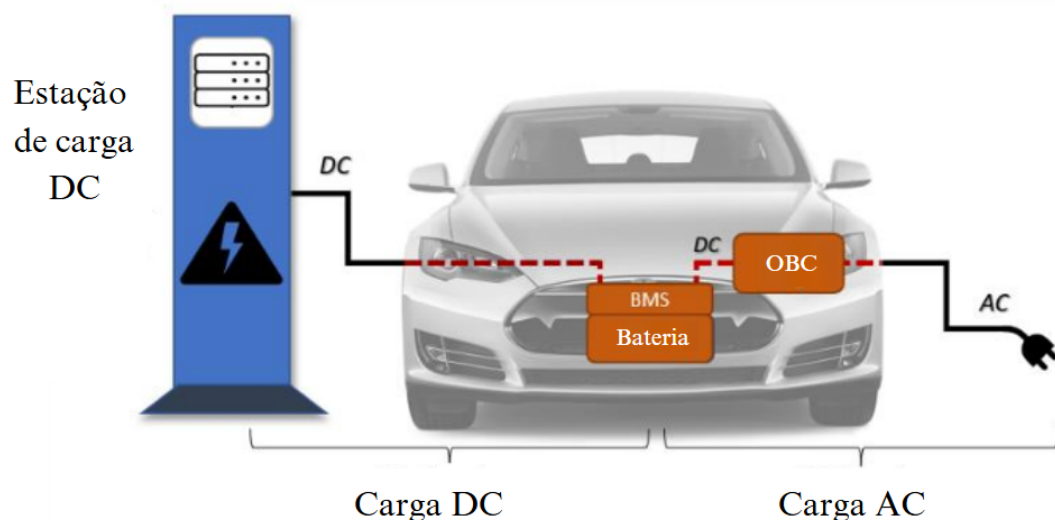
Entretanto, um dos maiores obstáculos dos EVs está relacionado ao tempo de carregamento das baterias, que podem ser carregadas em estações de recarga lenta e estações de recarga rápida. Atualmente, as estações de recarga rápida conseguem recarregar até 80% da bateria em 20 a 40 minutos, devido à injeção de energia em alta potência diretamente na bateria. Esses carregadores convertem a energia antes de entrar no EV através de um carregador externo dedicado, ignorando o conversor embutido dentro do veículo (ACHARIGE et al., 2023).

³ Do português Construa seus Sonhos

⁴ Do português Motor da Grande Muralha

Enquanto isso, sistemas de carga lenta dependem de um conversor de corrente alternada para corrente contínua (CA-CC) embutido no veículo, popularmente conhecido como carregador de embarcado (OBC)⁵. O OBC acaba sendo de potência limitada devido ao peso de um conversor de alta potência, o que resulta em um carregamento mais lento, levando cerca de 8 horas para uma carga completa do veículo, variando conforme a capacidade da bateria (BRENNA et al., 2020). Na Figura 3 é possível observar os diferentes métodos de carregamento em um único veículo (ACHARIGE et al., 2023).

Figura 3 – Estação de Recarga Rápida e Lenta



Fonte: Adaptado de Acharige et al. (2023)

O princípio de funcionamento de um OBC consiste em um conversor CA-CC, unidirecional ou bidirecional, que se comunica com o sistema de gerenciamento de bateria (BMS)⁶ e a unidade de controle do veículo (VCU)⁷, permitindo ajustes em tempo real de corrente e tensão com as instruções e parâmetros fornecidos por ambos. Além disso, a topologia do conversor influencia a potência máxima e a seu rendimento, que, vinculados a diferentes métodos de carga (variação de tensão e corrente na saída do conversor) que interferem na velocidade de recarga da bateria (BRENNA et al., 2020). Dessa forma, o OBC pode variar de acordo com a composição química da bateria, potência de carga desejada, topologia física (hardware) e método de carga (BRENNA et al., 2020; GAO et al., 2019; SYSTEMS, 2023).

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

Com o crescimento do mercado de veículos elétricos no Brasil, demonstrado na Figura 2, a capacitação de profissionais qualificados para atuar em projetos, operação e manutenção dos

⁵ Do inglês *on board charger*

⁶ Do inglês *Battery Management System*

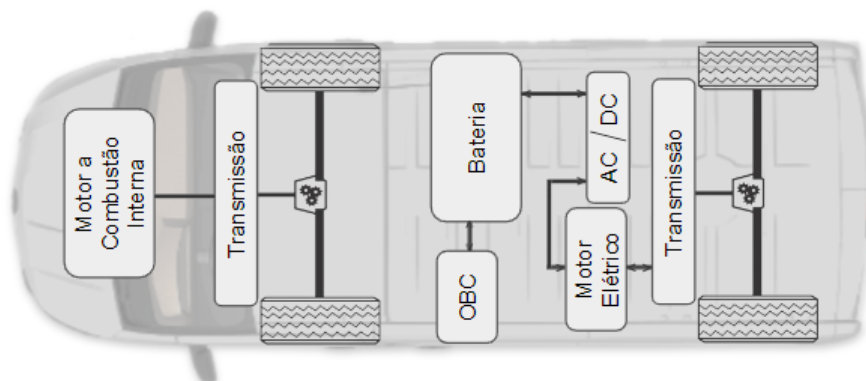
⁷ Do inglês *Vehicle Control Unit*

sistemas de infraestrutura desses veículos torna-se fundamental, tanto para o desenvolvimento de novos modelos quanto para a conversão de veículos a combustão em elétricos.

Nesse contexto, visando preparar professores e acadêmicos para estes desafios, o projeto ELETRIFICA consiste em um grupo estudantil criado pelos professores membros do Núcleo de Processamento de Energia Elétrica (nPEE) que contém o propósito de desenvolver estudos, projetos e protótipos para conversão elétrica de veículos à combustão, cujo primeiro estudo de caso será a conversão de uma Van Renault Master, adquirida pelo laboratório de Mobilidade Elétrica (nMOB) por meio da transferência entre o centro de ciências agroveterinárias (CAV) e centro de ciências e tecnologia (CCT). Devido à grande extensão do projeto, sua execução será dividida em partes e distribuídas entre os membros do grupo, visando uma melhor administração do coordenador. O sistema híbrido da van pode ser observado na Figura 4

Como mencionado no tópico anterior, o OBC é um componente do veículo elétrico responsável pelo sistema de carga lenta. Sendo assim, de forma mais breve, este trabalho consiste na escolha e implementação de um OBC para a van híbrida do projeto ELETRIFICA.

Figura 4 – Sistema Híbrido da Van ELETRIFICA



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2024

1.3 PROPOSTA E JUSTIFICATIVA

Dada a importância de garantir uma recarga eficiente e segura para a van híbrida do projeto ELETRIFICA, é necessário implementar um sistema de carga lenta que atenda tanto às especificações técnicas do veículo quanto às normas de padronização local. Assim, a proposta para este trabalho visa atender aos seguintes objetivos, abordando aspectos técnicos e funcionais do carregamento, desde a escolha do OBC até a sua integração com os demais sistemas do veículo, como a VCU e o BMS.

Objetivo Geral: Este trabalho visa apresentar o estudo e implementação de um OBC em um projeto de van elétrica do ELETRIFICA.

Objetivos Específicos:

- Estudo de conversores CA-CC para utilização como carregador embarcado em veículos elétricos;
- Estudo das principais normas que regulamentam a recarga veicular;
- Estudo do protocolo de comunicação entre o carregador e as estações de recarga;
- Estudo do protocolo de comunicação entre carregador, VCU e o BMS;
- Especificar, adquirir e implantar um OBC para ser utilizado na eletrificação de uma Van de transporte;

O desenvolvimento do projeto ocorre na infraestrutura do laboratório de ensino e pesquisa em Mobilidade Elétrica na UDESC Joinville, com equipamentos vinculados a pesquisas da área, como o sistema de testes para carregadores de veículos elétricos (CDS)⁸, Kit para eletrificação de veículo automotor (Inversor + Motor + Bateria) além de uma *Wall Box* (estação de recarga lenta). O laboratório também conta com alguns recursos externos, como o veículo elétrico da marca JAC Motors e-JS-4, veículo a combustão da marca Renault Master e a estação de recarga rápida com capacidade de 60 kW instalada no bloco J do departamento.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho de conclusão de curso (TCC) é apresentado em 7 capítulos. O Capítulo 2 é composto pela fundamentação teórica do trabalho, que tem como objetivo apresentar as principais informações e conceitos das peças específicas vinculadas ao OBC de um veículo elétrico. O Capítulo 3 apresenta os equipamentos adquiridos para o projeto e suas características. A abordagem de uma análise de escolha de opções disponíveis no mercado é apresentada no Capítulo 4. Os Capítulos 5 e 6 são destinados à explicação do funcionamento geral e resultados experimentais. Por fim, no Capítulo 7 apresenta-se uma discussão dos resultados obtidos e a conclusão final de todo o trabalho.

⁸ Do inglês *Charging Discovery System*

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos relevantes sobre os veículos elétricos, tendo como foco o OBC, demonstrando suas principais topologias, modos de carregamento, comunicação com BMS e Unidade de Controle Eletrônico (ECU)¹, além das normas vigentes e alguns dos principais componentes de um veículo elétrico/híbrido.

2.1 VEÍCULOS TOTALMENTE ELÉTRICOS

Os Veículos Totalmente Elétricos (AEVs)², são movidos por motores elétricos e, portanto, não emitem poluentes diretos, contribuindo para uma mobilidade mais sustentável (ACHARIGE et al., 2023). As classificações mais conhecidas estão descritas a baixo:

2.1.1 Veículos Elétricos a Bateria

Os Veículo Elétrico a Bateria (BEVs)³ são uma das formas mais puras de mobilidade elétrica, operando exclusivamente com energia elétrica armazenada em baterias recarregáveis. Se comparado aos veículos com motores de combustão interna, os BEVs produzem menos emissões poluentes. Embora a fabricação de suas baterias resulte em uma maior intensidade de carbono em relação aos carros a gasolina, essa desvantagem é compensada por uma operação significativamente mais limpa em quase todas as condições de uso (ANDREW, 2022).

A autonomia dos BEVs está relacionada diretamente com as baterias, que têm apresentado avanços significativos nos últimos anos. Atualmente, modelos no mercado como Model S, long range podem percorrer distâncias de 624 km com uma única carga, enquanto modelos como MX-30 - Mazda com uma capacidade de bateria menor, percorrem até 265 km (ACHARIGE et al., 2023).

2.1.2 Veículo Elétrico com Célula de Combustível

Os veículos elétricos com célula de combustível (FCEVs)⁴ utilizam células de combustível para converter hidrogênio em eletricidade com objetivo de alimentar um motor elétrico, permitindo que o veículo se mova. Uma das principais vantagens dos FCEVs é a sua maior eficiência energética em comparação aos veículos com motor a combustão, além da capacidade de reabastecimento rápido, similar ao abastecimento de um carro convencional. Além disso, o único subproduto da reação química nas células de combustível é o vapor de água, o que torna esses veículos extremamente limpos em termos de emissões (EMADI, 2015).

Porém, o preço das pilhas de combustível elevado e as infraestruturas, tais como estações de hidrogênio, não estão disponíveis na maioria dos locais. Cabe ressaltar que, a maior parte

¹ Do inglês *Electronic Control Unit*

² Do inglês *All Electric Vehicles*

³ Do inglês *Battery Electric Vehicle*

⁴ Do inglês *Fuel Cell Electric Vehicles*

do hidrogênio produzido recentemente vem de combustíveis fósseis, nos quais gases de efeito estufa do processo, como o dióxido de carbono, são liberados (EMADI, 2015).

2.2 VEÍCULOS HÍBRIDOS

Os veículos elétricos híbridos incorporam mais de uma fonte de energia propulsora para energizar o veículo, tendo capacidade de otimizar a energia do veículo, alcançando maior economia de combustível, ou seja, maior eficiência em relação aos veículos convencionais. Esses veículos integram um motor de combustão interna (MCI) e máquinas elétricas, que são energizadas por bateria elétrica integrada, ultracapacitor ou uma combinação de ambos podendo ter diversas topologias. Porém, há classificação de modo global é dividida em veículos elétricos híbridos completo (FHEV)⁵ e veículos elétricos híbridos *plug in* (PHEV)⁶ (EMADI, 2015).

2.2.1 Veículos Elétricos Híbridos Completo

A capacidade de operação de modo duplo da máquina elétrica (função de motor e gerador) é uma das principais vantagens dos FHEVs, em termos de recuperação de energia durante a fase de frenagem do veículo. Além disso, o sistema de propulsão elétrica oferece maior desempenho de aceleração em baixa velocidade, o que não pode ser alcançado em veículos convencionais devido às várias restrições mecânicas do MCI (EMADI, 2015).

A capacidade da bateria influencia diretamente a autonomia do veículo no modo elétrico e permite a operação em diferentes modos de propulsão: apenas motor a combustão, apenas motor elétrico ou uma combinação de ambos. No entanto, devido ao tamanho limitado da máquina elétrica e da bateria, os FHEVs que oferecem o modo totalmente elétrico geralmente apresentam um alcance reduzido e potência limitada (EMADI, 2015).

2.2.2 Veículos Elétricos Híbridos *Plug In*

O conceito de PHEV veio para estender o alcance totalmente elétrico dos FHEVs, de modo que a diferença entre essas classificações é o carregamento das baterias dos PHEVs, que ocorre diretamente da rede através de uma estação de recarga. Dessa forma, os PHEVs usam a propulsão elétrica como a principal força motriz, tendo um motor elétrico mais potente, que pode ser operado em modo totalmente elétrico, desligando o MCI. Portanto, esses veículos exigem uma capacidade de bateria maior do que os FHEVs (UN-NOOR et al., 2017).

A operação dos PHEVs começa no modo 'totalmente elétrico' e quando as baterias estão com pouca carga, o MCI é acionado para fornecer um impulso ou carregar a bateria. A capacidade dos PHEVs de funcionar exclusivamente com eletricidade na maior parte do tempo torna sua demanda por combustível fóssil menor do que os FHEVs reduzindo o custo associado e os gases poluentes (UN-NOOR et al., 2017).

⁵ Do inglês *Full Hybrid Electric Vehicle*

⁶ Do inglês *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*

2.3 TECNOLOGIA DE BATERIAS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS

As baterias têm um papel chave no contexto da mobilidade elétrica por serem a fonte de energia do sistema, sendo o elemento mais importante e de maior custo na cadeia de valor dos EVs (RODRÍGUEZ; CONSONI, 2020). Sendo capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química durante o carregamento ou frenagem regenerativa, as baterias de EV podem fornecer uma vida útil de 10 a 15 anos, além disso, seu custo e autonomia são determinados conforme sua capacidade e modelo químico. As principais baterias desenvolvidas para veículos elétricos são baterias de chumbo-ácido, baterias à base de níquel e de íons de lítio (ACHARIGE et al., 2023).

As baterias de íons de lítio (Li-ion) dominam o mercado de veículos elétricos (EVs) devido ao seu desempenho superior em relação às baterias à base de níquel ou chumbo-ácido. Elas apresentam alta eficiência energética nos processos de carga e descarga, variando entre 95% e 98%, além de baixa taxa de autodescarga, bom desempenho em altas temperaturas e excelente capacidade de armazenamento de energia (ACHARIGE et al., 2023). A maioria dos fabricantes de EV usa baterias LMO (óxido de lítio-manganês) devido à sua alta potência e energia específicas, entretanto, outros modelos de baterias de lítio como LTO (titanato de lítio) e LFP (fosfato de ferro e lítio) e são utilizados em ônibus elétricos e veículos híbridos devido ao longo ciclo de vida, carregamento rápido e nível de segurança (TRITEK, 2024). Baterias de NCA (óxido de alumínio, níquel, cobalto e lítio) e NMC (óxido de cobalto e manganês de lítio) normalmente são empregadas em veículos leves devido a alta densidade de energia, alta potência e design leve (TRITEK, 2024). A Tabela 1 demonstra de forma organizada as principais informações sobre as baterias de lítio.

Tabela 1 – Principais Informações Sobre Baterias de Lítio

Tipo de Bateria	Tempo de Vida	Energia Específica	Estabilidade Térmica	Custo
LMO	Moderado a Alto (500-1000 ciclos)	Moderada (100 Wh/kg - 150 Wh/kg)	Boa	Moderado
LTO	Excepcionalmente alto (6000-10000 ciclos)	Baixa a Moderada (80 Wh/kg - 120 Wh/kg)	Excelente	Alto
NCA	Moderado (500-1000 ciclos)	Elevada (200 Wh/kg - 250 Wh/kg)	Moderada	Alto
NMC	Moderado (500-1000 ciclos)	Elevada (150 Wh/kg - 200 Wh/kg)	Moderada	Alto
LFP	Alto (2000 a 5000 ciclos)	Moderada (90 Wh/kg - 160 Wh/kg)	Excelente	Moderado

Fonte: Adaptado de TRITEK (2024)

2.3.1 Sistema de Gerenciamento de Baterias

O BMS é uma unidade de controle fundamental na bateria, cuja função primordial é monitorar, garantir a segurança do equipamento e gerenciar a carga e descarga da bateria, visando um melhor desempenho dos módulos da bateria, sejam eles individuais ou múltiplos. O sistema de monitoramento envolve a medição de grandezas essenciais como tensões das células, corrente do pack, tensão do pack e temperatura do pack, além do monitoramento do isolamento da bateria em relação ao aterramento (GABBAR; OTHMAN; ABDUSSAMI, 2021).

O sistema de segurança da bateria é responsável por gerenciar a desconexão desses módulos do sistema em condições anormais, garantindo a segurança contra quaisquer perigos no sistema da bateria, prevendo sobretensão, sobrecorrente, falhas de isolamento e detecção de temperaturas anormais, além de controlar as temperaturas de reação eletroquímica e ambiente da bateria dentro dos limites de segurança (GABBAR; OTHMAN; ABDUSSAMI, 2021).

O gerenciamento de carga e descarga assegura procedimentos eficientes, mantendo o Estado de Carga (SOC)⁷ adequado para maximizar a vida útil da bateria e realizando o balanceamento entre as tensões das células. O Diagnóstico permite estimar e prever parâmetros como o SOC, Estado de Saúde (SOH)⁸ e capacidade da bateria, sendo responsável também por detectar falhas como incêndios e fugas térmicas, minimizando suas consequências (GABBAR; OTHMAN; ABDUSSAMI, 2021).

2.4 MODOS DE CARREGAMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

A evolução do método de recarga dos EVs deve acompanhar as demandas dos usuários, de modo que o tempo de carregamento seja compatível com o tempo necessário para reabastecer veículos com motores a combustão convencionais. Além disso, o equipamento de abastecimento de veículos elétricos (EVSE)⁹ precisa ser aprimorado, suportando níveis de potência mais elevados para permitir o carregamento ultrarrápido (ACHARIGE et al., 2023).

Nesse contexto, as principais normas visam à padronização dos sistemas de carregamento (veículo/estação) com o intuito de garantir a interoperabilidade, segurança, eficiência e limites de poluição das redes desses sistemas de carregamento. Essas normas são estabelecidas pelo Padrão Nacional Recomendado da China (GB/T)¹⁰ na China, pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC)¹¹ na Europa e pela Sociedade de Engenheiros Automotivos (SAE)¹² na América do Norte (KHALIGH; D'ANTONIO, 2019).

⁷ Do inglês State of Charge

⁸ Do inglês State of Health

⁹ Do inglês EV supply equipment

¹⁰ Do chinês *Guobiao Tuijian*

¹¹ Do inglês *International Electrotechnical Commission*

¹² Do inglês *Society of Automotive Engineers*

2.4.1 ABNT IEC-61851-1

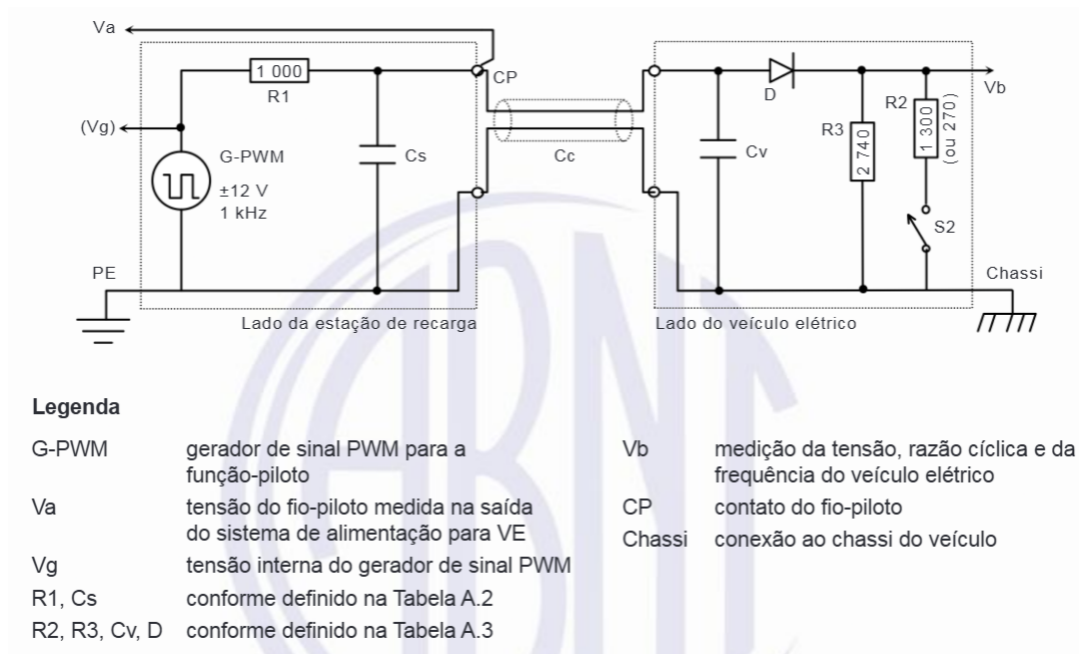
Essa norma estabelece os principais atributos do processo de carregamento seguro, separando-os em carregamentos controlados e não controlados, onde os sistemas controlados devem se comunicar através de dois pinos controle de piloto (CP)¹³ e piloto de proximidade (PP)¹⁴ (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b).

2.4.1.1 Controle de Piloto

O circuito de leitura do CP presente no veículo é apresentado na Figura 5. Esse circuito é recomendado pela norma IEC-61851, e garante a interoperabilidade com aqueles projetados de acordo com a SAE J1772 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b).

A função principal do Pino Piloto é monitorar e controlar a interação entre o EV e o sistema de alimentação, através da razão cíclica e da amplitude do sinal da Modulação por Largura de Pulso (PWM)¹⁵, assegurando que a recarga ocorra de forma segura e eficiente. Além disso, o pino piloto também é utilizado para indicar o estado da conexão com a estação de recarga (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b).

Figura 5 – Circuito Típico de Pino Piloto



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021b)

Os níveis de corrente permitidos de acordo com a razão cíclica estão presentes na Tabela 2.

¹³ Do inglês Control Pilot

¹⁴ Do inglês Proximity Pilot

¹⁵ Do inglês Pulse Width Modulation

Tabela 2 – Corrente máxima a ser consumida pelo veículo (continua)

Razão cíclica D_{in} do fio-piloto	Corrente máxima I_{max} , a ser consumida pelo veículo
Razão cíclica $< 3 \%$	0 A
$3 \% \leq D_{in} \leq 7 \%$	Conforme indicado pela comunicação digital
$7 \% < D_{in} < 8 \%$	0 A
$8 \% \leq D_{in} < 10 \%$	6 A
$10 \% \leq D_{in} \leq 85 \%$	$D_{in} \times 0,6 \text{ A}$
$85 \% < D_{in} \leq 96 \%$	$(D_{in} - 64) \times 2,5 \text{ A}$
$96 \% < D_{in} \leq 97 \%$	80 A
$97 \% < D_{in} \leq 100 \%$	0 A

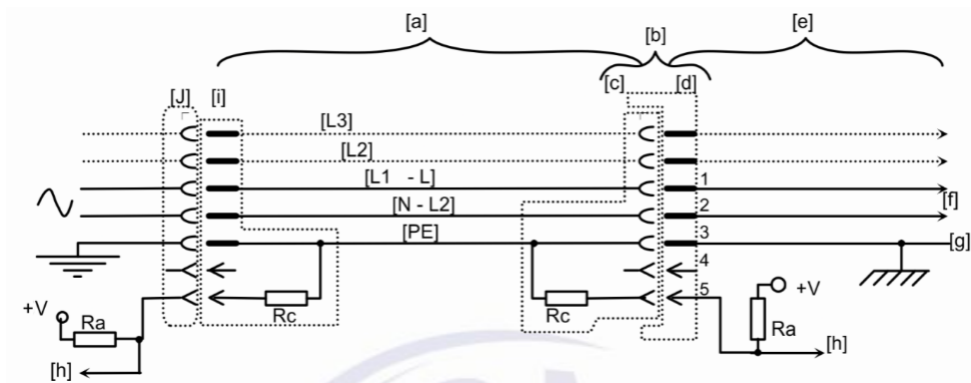
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021b)

O pino de controle é responsável por transmitir sinais PWM da estação de recarga até o veículo, onde a corrente máxima que a estação pode fornecer é representada pela razão cíclica desse sinal. O veículo controla o início e fim de carga alterando a amplitude desse sinal através da chave S2. Dessa forma, em situações de emergência cujos problemas são apresentados no veículo, o próprio veículo pode rapidamente interromper a recarga.

2.4.1.2 Piloto de Proximidade

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021b) esse pino tem a função de indicar o estado de inserção da tomada móvel no plugue fixo para o EV. Além disso, também é responsável pela leitura de corrente máxima permitida no cabo de carregamento, de forma a garantir que a conexão entre o EV e a estação de recarga seja segura e adequada antes do início do processo de recarga.

Figura 6 – Circuito Típico do Pino de Proximidade



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021b)

O circuito de leitura do pino PP presente nos veículos é demonstrado na Figura 6, consistindo em apenas um divisor resistivo entre os resistores R_a e R_c . Vale ressaltar que o EV e

a estação possuem circuitos de verificação isolados, onde cada um apresenta um divisor resistivo diferente e pontos de leituras individuais, representado pela letra [h]. O conjunto [a] representa o cabo que se estende da estação até o veículo, [b] a conexão entre o plug fixo do veículo e plug móvel do cabo, e [e] o sistema interno do veículo. [J] e [d] são os plugs fixos da estação e do veículo e [i] e [c] são os plugs móveis do cabo.

O resistor R_c varia conforme a capacidade do cabo, sendo apresentado na Tabela 3, e o R_a é projetado de forma que melhor convém à utilização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021b). Além disso, caso o sistema entre na região de erro do pino PP, o veículo tem até 30 segundos para desbloquear o plug de carregamento.

Tabela 3 – Parâmetros de Valores para Resistência R_c

Corrente admissível do cabo de recarga para VE (A)	Resistência nominal do R_c $\pm 3\%$ (Ω)	Faixa aceitável de R_c (Ω)
0	Erro	< 60
13	1500	1100 – 2460
20	680	400 – 936
32	220	164 – 308
63 (trifásico) / 70 (monofásico)	100	80 – 140
0	Erro ou Plug desconectado	> 4500

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021b)

2.4.2 Modos de Carregamento Conforme a IEC-61851

A IEC-61851 define quatro modos para sistemas de carregamento, nos quais três são em Corrente Alternada (CA) e um em Corrente Contínua (CC). Os limites de corrente, tensão e potência são apresentados na Tabela 4.

2.4.2.1 Modo 1

O Modo 1 é um método para a conexão de um EV a uma tomada padrão de uma rede de alimentação CA, utilizando um cabo e um plugue, ambos não equipados com nenhum piloto suplementar ou contatos auxiliares. Os valores nominais de corrente e tensão não devem exceder 16 A e 250 V Valor eficaz (RMS)¹⁶ em sistemas monofásicos e 16 A e 480 V RMS em sistemas trifásicos.

2.4.2.2 Modo 2

O modo 2 é um método para a conexão de um EV a uma tomada padrão de uma rede de alimentação CA utilizando uma caixa de controle¹⁷ com cabo e plugue, com uma função

¹⁶ Do inglês Root Mean Square

¹⁷ Do inglês Control Box

piloto de controle e sistema para proteção pessoal contra choque elétrico colocado entre o plugue padrão e o EV. Os valores nominais de corrente e tensão não devem exceder 32 A e 250 V RMS em sistemas monofásicos e 32 A e 480 V RMS em sistemas trifásicos.

2.4.2.3 Modo 3

O modo 3 é um método para a conexão de um EV a uma estação de recarga CA permanentemente conectado a uma rede de alimentação CA, com uma função piloto de controle que se estende do conversor CA ao EV. Os valores nominais de corrente e tensão não devem exceder 32 A e 250 V RMS em sistemas monofásicos e 63 A e 480 V RMS em sistemas trifásicos.

2.4.2.4 Modo 4

O modo 4 é um método para a conexão de um EV a uma rede de alimentação CA ou CC utilizando um conversor CC, com uma função piloto de controle que se estende do conversor CC até o EV.

A Tabela 4 demonstra de maneira mais esclarecida os limites de corrente, tensão e potência desses modos de carregamento.

Tabela 4 – Resumo dos Modos de Carregamento

Modo de Carga	Fase	Corrente	Tensão	Potência (Max)	Especificação do Condutor	Configuração de Carga
Modo 1	CA - 1 CA - 3	16A	250 V 480 V	3.7 kW 7.6 kW	não	
Modo 2	CA - 1 CA - 3	32A	250 V 480 V	7.6 kW 15.36 kW	sim	
Modo 3	CA - 1 CA - 3	32 A 63 A	250 V 480 V	7.6 kW 90 kW	sim	
Modo 4	CC	250 A - 400 A	600 V - 1000 V	> 400 kW	sim	

Fonte: Adaptado de Acharige et al. (2023)

2.4.3 Limites de Injeção de Harmônicos na Rede

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013) é responsável por ditar os limites de poluição da rede causados pelo sistema de carregamento lento (OBC), informando limites para carregamentos lentos de até 16 ampères por meio da IEC 61000-3-2, porém não é adotado nenhum critério para correntes superiores a 16 A. Dessa forma, para análises de correntes superiores a 16 A aplica-se a norma IEC 61000-3-12.

2.4.3.1 IEC 61000-3-12 (2004)

A presente norma aborda a Compatibilidade Eletromagnética (EMC)¹⁸, especificamente os limites para as correntes harmônicas produzidas por equipamentos que são conectados a sistemas públicos de baixa tensão (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2004). Dessa forma, para sistemas monofásicos com correntes maiores que 16 A e menores ou iguais a 75 A, os limites de distorção harmônica total (THD)¹⁹ são apresentados na Tabela 5 em percentual da fundamental.

Tabela 5 – Limites Atuais de Emissão para Equipamentos que Não Sejam Equipamentos Trifásicos Balanceados

Mínimo R_{sce}	Corrente harmônica individual admissível I_n/I_1 (%)						Fator de distorção harmônica (%)
	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	THD
33	21,6	10,7	7,2	3,8	3,1	2	23
66	24	13	8	5	4	3	26
120	27	15	10	6	5	4	30
≥ 350	35	20	13	9	8	6	40
	41	24	15	12	10	8	47

Fonte: Adaptado de International Electrotechnical Commission (2004)

O fator R_{sce} é representado pela razão entre a potência de curto-circuito da rede e a potência do equipamento.

2.5 TIPOS DE CONECTORES

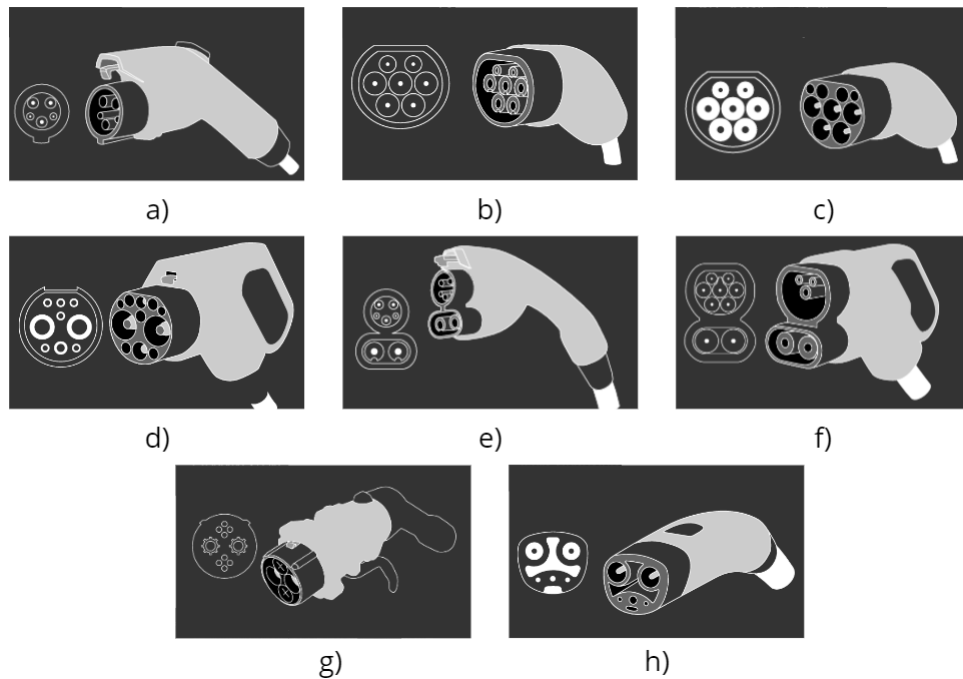
Conforme mencionado no sessão 2.4, as principais normas de padronização são estabelecidas por associações locais em diferentes continentes: GB/T na Ásia, IEC na Europa e SAE na América do Norte. Cada uma dessas associações define normas que visam padronizar as conexões entre veículos e estações de carga, além disso, essas normas podem variar de acordo com o tipo de entrada (CA ou CC) e a potência da estação. Dessa forma, os diferentes padrões de conexões são apresentados na Figura 7, sendo oito padrões diferentes com suas normas vigentes e potência máxima listadas no Tabela 6.

A ABNT IEC-62196 visa estabelecer os requisitos gerais para plugues, tomadas, tomadas móveis e plugues fixos utilizados na recarga condutiva de veículos elétricos. A norma abrange acessórios que devem ser projetados para uso seguro, apresentando aspectos mecânicos, elétricos e de desempenho, além de garantir a compatibilidade e a intercambiabilidade entre diferentes sistemas de recarga (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021a).

¹⁸ Do inglês *Electromagnetic Compatibility*

¹⁹ Do inglês *Total Harmonic Distortion*

Figura 7 – Modelos de Conectores Veiculares mais Conhecidos



Fonte: Adaptado de Tavares (2019)

Tabela 6 – Modelos de Conectores Veiculares mais Conhecidos

Figura Respectiva ao Conector	Tipo de Carregador	Potência Máxima	Modos de Operação	Normas das Associações Empregadas
a	Type 1 (SAE J1772)	19,2 kW	CA - Modo 1	SAE J1772-2017 IEC 62196-2 IEC 61851-22/23
b	Type 2 (IEC62196-2)	22kW	CA - Modo 2 CA - Modo 3	IEC 62196-2 IEC 61851-22/23
c	Type 2 (GB/T)	27,7 kW	CA - Modo 2 CA - Modo 3	GB/T 20234-2 IEC 62196-2
d	GB/T 20234.3	237 kW	CC	GB/T 20234-3 IEC 62196-3
e	CCS Combo 1 Tipo 1	350 kW	CC	SAE J1772 IEC 61851-23/24 IEC 62196-3
f	CCS Combo 2 Tipo 2	350 kW	CC	IEC 61851-23/24 IEC 62196-3
g	CHAdemo	400 kW	CC	IEC 61851-23/4 IEC 62196-3
h	Tesla supercharger	11,5 kW 350 kW	CA CC	IEC 62196-2 IEC 62196-3

Fonte: Adaptado de Khaligh e D'Antonio (2019) e Acharige et al. (2023)

2.5.1 Sistema de Travamento do Plug Fixo do Veículo

A IEC-61851 e GB/T18487.1 ditam modelos e padronização do sistema de travamento mecânico/eletromecânico dos plugs de carregamento do veículo. O mecanismo de travamento é projetado para reduzir a probabilidade de manobras inadequadas ou remoções não autorizadas do plugue, mantendo-o firmemente conectado à tomada, dessa forma evitando o risco da formação de arcos elétricos durante a remoção inadequada do conector veicular.

2.6 SISTEMA DE CARGA OBC PARA BATERIA LÍTIO

O OBC tem a finalidade de fornecer a tensão e a corrente de carga solicitada à bateria, de tal modo em que a comunicação feita entre a estação de carga, BMS e o OBC ocorre de forma autônoma. Portanto, uma parte importante do processo de carregamento é que o BMS interprete o SOC correto da bateria e que o carregador forneça o perfil de carregamento correto para o modelo de bateria (KHALIGH; D'ANTONIO, 2019).

Nesse viés, a velocidade de carregamento da bateria de íons lítio se torna um fator crucial no desenvolvimento dos EVs, no entanto, simplesmente aumentar as taxas de carregamento pode causar um aumento da temperatura e acelerar as reações colaterais. Dessa forma, os métodos de recarga tem o objetivo de carregar a bateria o mais rápido possível, enquanto o aumento da temperatura e os efeitos do envelhecimento são mantidos em uma faixa aceitável (GAO et al., 2019).

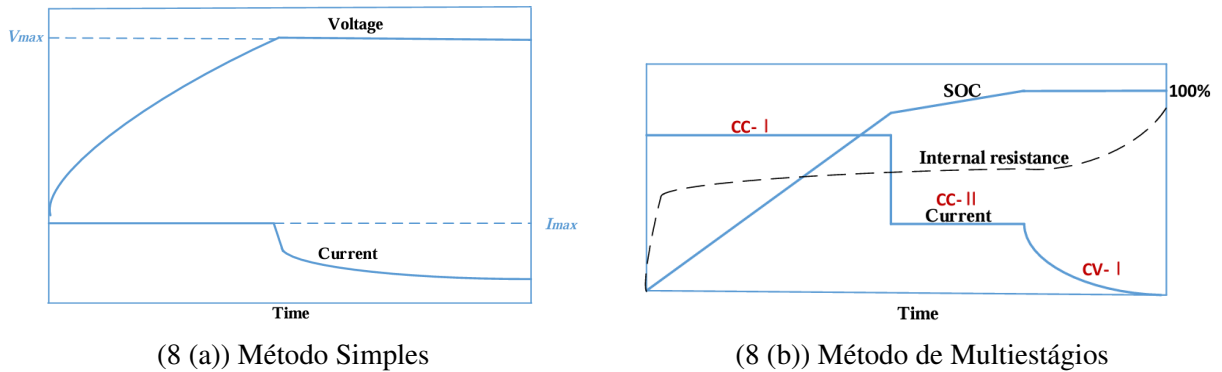
2.6.1 Metodologia Corrente Constante e Tensão Constante

A metodologia de corrente constante e tensão constante ignora as respostas da dinâmica da bateria, apresentando abordagens podem ser caracterizadas por seus perfis de carga predefinidos com restrições fixas de corrente, tensão e/ou energia (GAO et al., 2019).

O método simples é amplamente adotado no carregamento de baterias de íons de lítio devido à sua simplicidade e fácil implementação, podendo ser observado na Figura 8 (a). Esse método consiste em inicialmente carregar a carga com corrente constante até que a tensão da bateria atinja uma tensão de carga máxima predefinida, então a tensão de carga é mantida constante até que a corrente seja reduzida a um valor mínimo predefinido, como demonstrado na Figura 8 (a) (GAO et al., 2019).

Uma das variantes da estratégia de carregamento da corrente constante / tensão constante desenvolvida é o carregamento rápido multiestágio, onde é dividido em três estágios diferentes, referidos como CC-I, CC-II e CV-I representado na Figura 8 (b). O método é baseado na variação da resistência interna durante o carregamento, onde os dois últimos estágios a resistência é consideravelmente elevada (GAO et al., 2019).

Figura 8 – Métodos de Corrente Constante e Tensão Constante

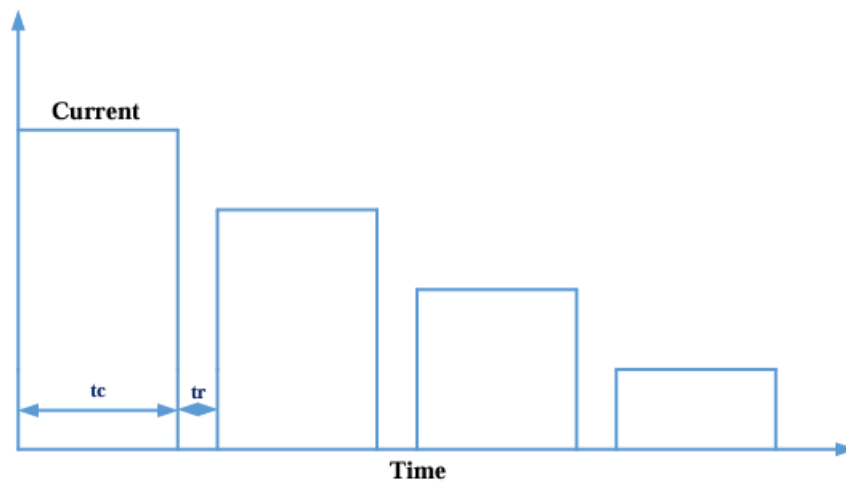


Fonte: Adaptado de Gao et al. (2019)

2.6.2 Técnicas de Carregamento de Pulso

Considerada um algoritmo de carregamento rápido e eficiente para baterias de íons de lítio, a carga de pulso consiste em uma densidade de corrente decrescente não linearmente que esteja em conformidade com a variação do coeficiente de transferência de massa, representada na Figura 9, podendo fornecer um carregamento completo em menos de 3 a 4 horas (GAO et al., 2019).

Figura 9 – Carga de Pulsos



Fonte: Gao et al. (2019)

2.6.3 Metodologia de Circuitos Equivalentes e Modelos de Redes Neurais

Essa categoria utiliza modelos empíricos, como modelos baseados em circuitos equivalentes e modelos de redes neurais para prever o estado da bateria e calcular os elementos elétricos usando dados experimentais anteriores (GAO et al., 2019).

Modelos de circuitos adotados para estimar os estados da bateria:

- Filtros do tipo Kalman;
- Mínimos quadrados recursivos;
- Observadores de modo deslizante;
- Estimativas de horizonte móvel;

Modelos formulados para melhorar o desempenho de carregamento:

- Otimização de frequência;
- Otimização multiobjetivo;
- Controle difuso;
- Controle quadrático linear;
- Controle preditivo de modelo;

Estes modelos são computacionalmente rápidos e simples, mas incapazes de refletir parâmetros baseados na física e no envelhecimento da bateria, o que pode resultar em um funcionamento inadequado após certos ciclos (GAO et al., 2019).

2.6.4 Modelo Eletroquímico

Atualmente, os sistemas mais sofisticados são os algoritmos de carregamento baseados em modelos eletroquímicos regidos por cinética e equações de transporte. Esses sistemas podem ser formulados para minimizar o tempo de carregamento e compensar as incertezas e distúrbios do modelo, além de poder prever as variações de temperatura, sendo considerados próximo ao modelo do mecanismo real da bateria. Porém, as equações diferenciais parciais não lineares acabam limitando a aplicação (GAO et al., 2019).

2.7 MÓDULO DE POTÊNCIA AUXILIAR

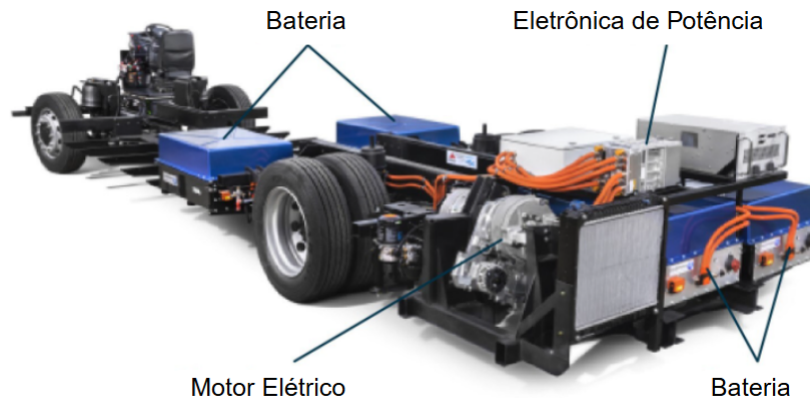
O Módulo de Potência Auxiliar (APM)²⁰, é um conversor CC - CC altamente eficaz responsável por fornecer energia de baixa tensão (geralmente 12 V ou 24 V) a partir da bateria principal do veículo elétrico, sendo equivalente ao alternador dos veículos à combustão (WANG; ZHENG; BAUMAN, 2023).

²⁰ Do inglês Auxiliary Power Module

2.8 SISTEMA PROPULSÃO

O sistema de propulsão (PT)²¹ abrange desde as fontes de energia até o trabalho mecânico nas rodas, nos quais em veículos convencionais, o PT consiste principalmente em um motor de combustão interna, uma transmissão (com embreagens, hidráulica e controlador) e um sistema de transmissão (EMADI, 2015).

Figura 10 – Exemplo de Sistema Propulsão



Fonte: Adaptado de FUTURELEARN (2025)

Em EVs, sua composição inclui o sistema de energia (como a bateria ou célula a combustível), eletrônica de potência (inversores) e máquinas elétricas (motores de tração), demonstradas na Figura 10, responsáveis por converter a energia armazenada e impulsionar o veículo até o eixo de tração (HAYES; GOODARZI, 2018).

2.9 SISTEMAS UNIDIRECIONAIS E BIDIRECIONAIS DE OBC'S

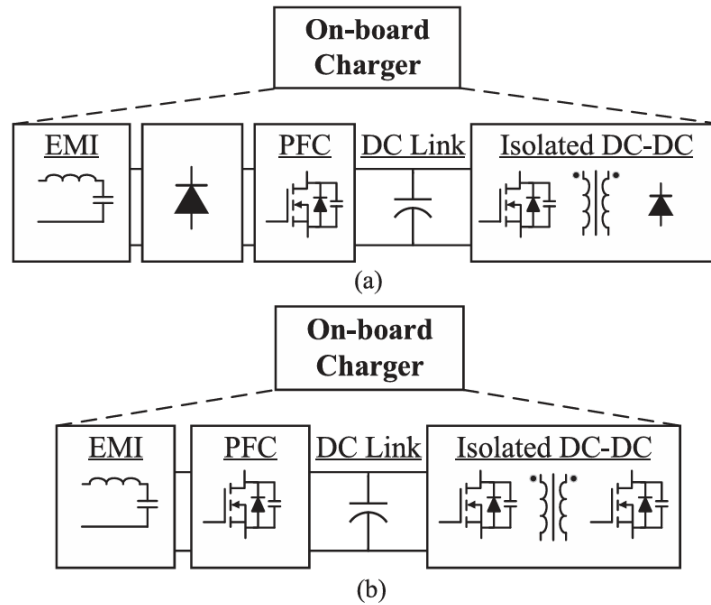
O fluxo de energia de um EV pode operar no modo rede para veículo (G2V)²² ou do veículo para rede (V2G)²³, sendo necessário sistemas de OBC unidirecional ou bidirecional, variando de acordo com a configuração de carregamento incorporada ao EV (ACHARIGE et al., 2023). A maior preocupação dos fabricantes em relação aos sistemas de OBC bidirecionais está no aumento do custo e volume do OBC e a degradação da bateria, além disso, empresas de serviços públicos ainda não implementaram a arquitetura complementar do sistema de energia inteligente, fazendo com que esse recurso quase não seja utilizado (KHALIGH; D'ANTONIO, 2019). Em contraste, o sistema de carregamento unidirecional tem uma estrutura mais simples e tende a minimizar a degradação da bateria, sendo executado em um único estágio para reduzir peso, volume, custo e perdas (ACHARIGE et al., 2023). Na Figura 11 é possível observar a estrutura típica de um OBC unidirecional e bidirecional.

²¹ Do inglês Powertrain

²² Do inglês *Grid to Vehicle*

²³ Do inglês *Vehicle to Grid*

Figura 11 – OBC Bidirecional e Unidirecional



Fonte: Khaligh e D'Antonio (2019)

Como demonstrado na Figura 11, a maioria dos carregadores de bordo usa topologias de conversor de dois estágios: um estágio CA-CC no *front-end* e um estágio em corrente contínua para corrente contínua (CC-CC) isolado no *back-end*, ligados a um barramento CC (ACHARIGE et al., 2023). Geralmente em estruturas de OBCs unidirecionais, como representada na Figura 11 (a), o *front-end* e o *back-end* são normalmente realizados usando pontes de diodo, reduzindo a complexidade do sistema. Porém, existem vários carregadores unidirecionais que usam pelo menos um *front-end* ativo que remetem a uma redução no total de componentes do circuito de correção do fator de potência (CFP), levando a uma maior eficiência e funcionalidade aprimorada, como controle do fator de potência ajustável.

Os sistemas bidirecionais vêm sendo cada vez mais empregados devido as suas vantagens, onde permitem o controle do fluxo de energia G2V, bem como do veículo para o sistema apropriado de uma casa (V2H)²⁴ ou de um sistema de carga externa (V2L)²⁵. Esses sistemas bidirecionais geralmente incorporam a presença de um estágio CFP ativo no lado primário e de um conversor CC-CC ativo no lado secundário (em vez de diodos), o que aumenta o custo devido ao maior número de componentes, impactando na confiabilidade, rendimento e peso do OBC (KHALIGH; D'ANTONIO, 2019).

Independentemente do OBC ser unidirecional ou bidirecional, o OBC no modo de carregamento precisa garantir que os padrões de qualidade de energia sejam atendidos no lado da rede. Os padrões relativos à injeção harmônica para carregadores de veículos elétricos nos Estados Unidos da América (EUA), Europa e China no modo de carregamento são abordados na SAE J2894, IEC 61000, GB/T 14549 e IEEE 519 (KHALIGH; D'ANTONIO, 2019).

²⁴ Do inglês *Vehicle to Home*

²⁵ Do inglês *Vehicle to Load*

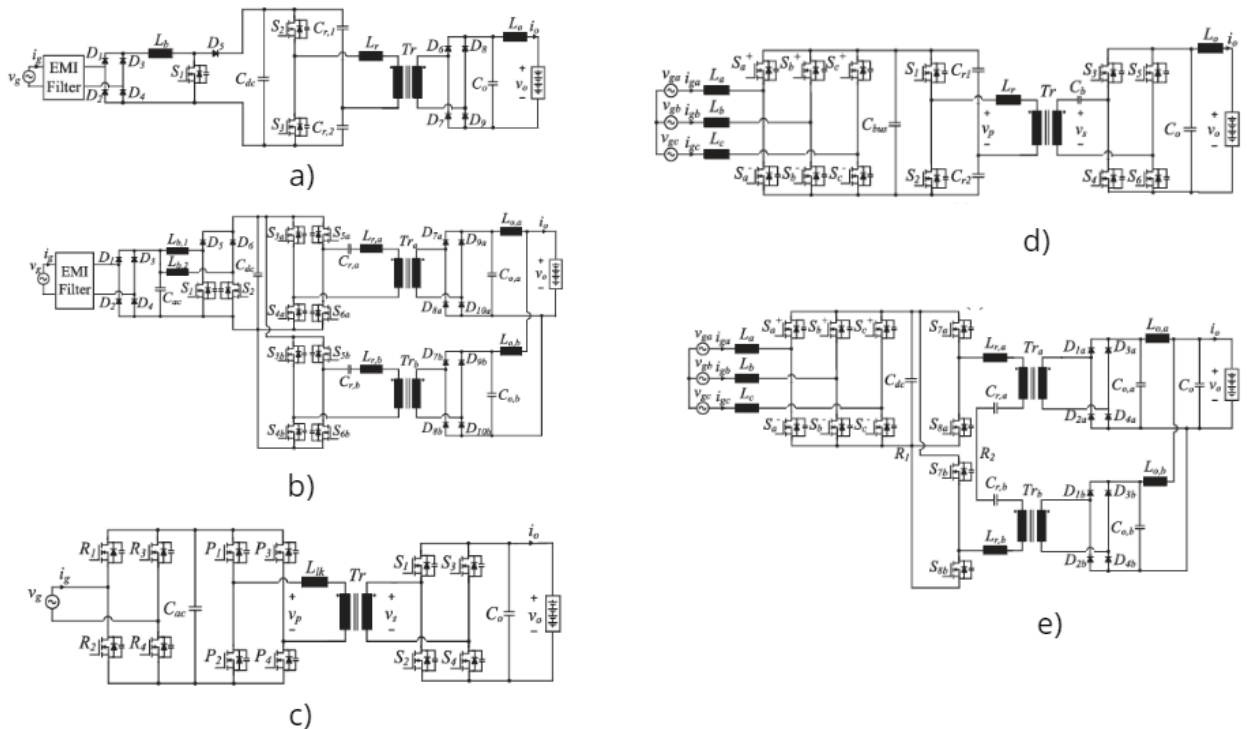
2.10 TOPOLOGIAS DE OBC PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Devido às tendências identificadas em EVs em relação ao aumento da capacidade da bateria e, portanto, ao aumento da potência do OBC, as topologias do conversor OBC acabam se dividindo em duas categorias: Dedicados e Integrados.

2.10.1 Dedicado

O OBC dedicado é um dispositivo independente com o único propósito de carregar uma bateria do EV, fornecendo energia que atenda às condições da específica bateria. A estrutura típica de um OBC dedicado inclui um filtro de interferência electromagnética (EMI)²⁶, um conversor CA-CC com CFP, um barramento CC e um conversor CC-CC isolado, como apresentado na Figura 11. As topologias desses carregadores varia de acordo com o modo de operação, podendo ser monofásico, trifásico, um ou dois estágios e diferentes sistemas de controles. As topologias apresentadas na Figura 12 são todas apresentadas por KHALIGH;D'ANTONIO, 2019 e uma breve explicação das mesmas se encontra abaixo.

Figura 12 – OBC Bidirecional e Unidirecional



Fonte: Adaptado de Khaligh e D'Antonio (2019)

- Sistema Modular de Dois Estágios Figura 12(a):

Essa ilustração retrata de uma topologia monofásica de um conversor trifásico. Embora este conversor seja classificado para 10,5 kW, utiliza-se três módulos de carregamento mono-

²⁶ Do inglês Electromagnetic Interference

fásicos em paralelos, cada um classificado para uma distribuição igual de potência total, a 3,5 kW podendo chegar a uma eficiência de 95,6%. Cada carregador monofásico é composto por uma ponte de diodo e um conversor *boost*²⁷ operando a 90 kHz de frequência de comutação, conectado a um barramento CC. O estágio CC-CC de cada unidade monofásica consiste em um conversor ressonante LLC (indutor-indutor-capacitor) de meia ponte, com isolamento galvânico e uma ponte de diodos no lado secundário.

- Sistema Modular de Dois Estágios Figura 12(b):

A topologia do circuito de um módulo monofásico deste conversor trifásico possui 7,4 kW na Europa e 5,73 kW nos EUA, apresentando uma potência total de 22 kW ou 17,2 kW. A topologia monofásica é composta por uma ponte de diodos com um limitador de corrente de *inrush*²⁸ e um conversor *boost* intercalado conectado a um barramento CC. Além disso, o estágio CC-CC é composto por dois conversores ressonantes LLC de ponte completa isolados de entrada paralela e saída paralela com pontes de diodo no lado secundário. As vantagens desta topologia inclui ondulação de corrente reduzida nos capacitores de saída e tamanho compacto do carregador. Esse modelo de conversor pode atingir uma eficiência máxima de 94,5%, uma densidade de potência de 1,98 kW/L e um peso de 12 kg.

- Sistema Modular de Estágios Único Figura 12(c):

A topologia do circuito de um módulo monofásico de 7,2 kW, deste conversor trifásico projetado para 22 kW, é composta por uma composta por uma ponte completa de chaveamento (R1–R4), que opera como um retificador de onda completa. Isso leva a uma tensão CA retificada no banco de capacitores de barramento CA, que não armazena energia pois a topologia é designada como solução de estágio único. Após o barramento, encontra-se um conversor CC-CC do tipo ponte duplamente ativa (DAB)²⁹, com isolamento galvânico e estrutura de ponte completa em ambos os lados.

O sistema possui desvantagens que incluem a adição de componentes ativos para implementação monofásica, alto custo dos componentes GaN e uma implementação de controle complexa. Porém, o carregador atinge eficiência máxima superior a 97% e uma densidade de potência de 3,3 kW/L.

- Sistema Modular de Potência Total de Dois Estágios Figura 12(d):

O conversor possui entrada trifásica e é composto por um estágio de CFP implementado com um conversor *boost* trifásico conectado a um capacitor de barramento CC. Em seguida, há um conversor CC-CC ressonante LLC isolado com estrutura de meia ponte no lado primário e

²⁷ Tradução própria do inglês Elevador

²⁸ Tradução própria do inglês Corrente de Pico de Energização

²⁹ Do inglês Dual Active Bridge

uma topologia de ponte completa no lado secundário. O carregador foi projetado para potência nominal de 10 kW, onde atinge uma eficiência de 96%. Esse sistema apresenta uma complexidade reduzida para compatibilidade de alta potência, fluxo de energia bidirecional devido ao *front-end* e *back-end* ativos.

- Sistema Modular de Potência Total de Dois Estágios Figura 12(e):

O conversor possui entrada trifásica e é composto por um estágio de CFP implementado com um *boost* trifásico conectado a um capacitor de barramento CC. Em seguida, há dois conversores CC-CC ressonantes LLC isolados do tipo meia ponte, conectados em paralelo, cada um com um transformador de alta frequência conectado em configuração estrela-série e uma ponte de diodos no lado secundário. Esse conversor opera em potência nominal de 20 kW e pode atingir uma eficiência de até 96%, além disso, a bidirecionalidade pode ser alcançada usando MOSFETs de ponte completa do lado secundário, aumentando o custo e obtendo maior complexidade do sistema.

- Configurações de OBC em algumas indústrias:

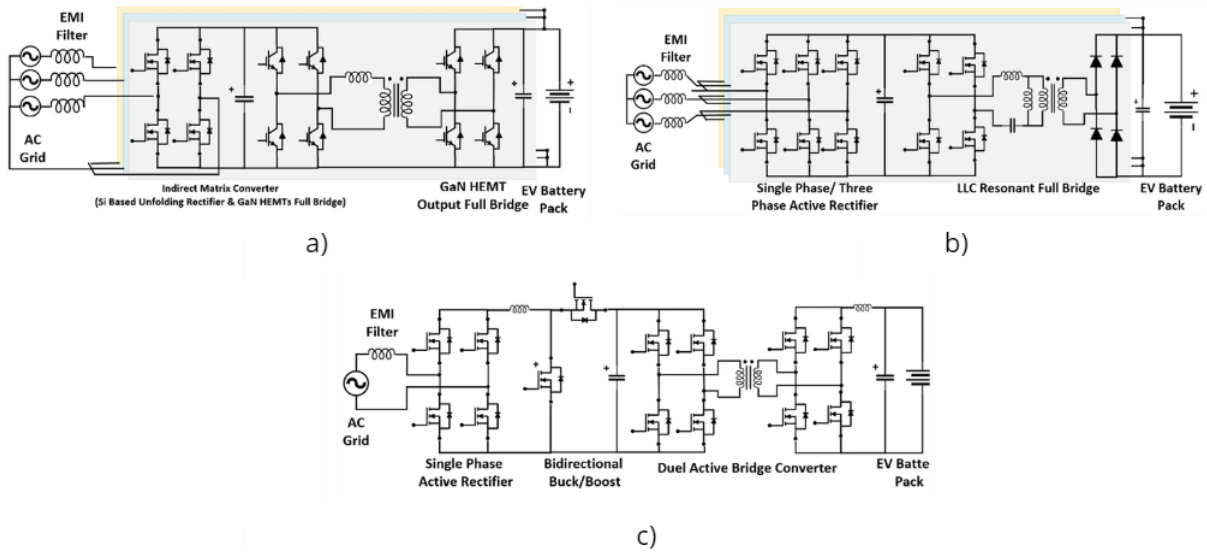
Os conversores do tipo matriz, apresentados na Figura 13 (a), foram introduzidos pela Hella Electronics, reduzindo ainda mais os estágios de conversão e alcançando uma máxima eficiência de 98% em operações monofásicas de 7,2 kW. O conversor de matricial transforma a frequência da rede de entrada na frequência intermediária e um filtro CC maior se conecta ao lado da bateria no OBC (ACHARIGE et al., 2023).

Conforme ACHARIGE (2023), "Uma versão mais recente dos carregadores de bordo da Tesla, demonstrada na Figura 13(b), adota uma tendência semelhante no estágio de conversão CC-CC e três canais paralelos são integrados no *front-end*", possuindo uma capacidade máxima de carregamento de 11,5 kW.

A Figura 13 (c) mostra a topologia dos carregadores embarcados da Hyundai que suportam fluxo de energia bidirecional. O OBC é composto por um retificador ativo monofásico frontal e um conversor *buck-boost* bidirecional seguido por uma ponte ativa dual para facilitar o fluxo de energia bidirecional, bem como ajustar a tensão apropriada para diferentes configurações (ACHARIGE et al., 2023).

Ademais, alguns dos principais fabricantes especializados no desenvolvimento de OBCs dedicados são: Brusa; G-Power; Continental e Delta. Esses fabricantes englobam diversos modelos de OBCs que variam suas operações, de modo a serem monofásicas e/ou trifásicas, além de potências e rendimentos (KHALIGH; D'ANTONIO, 2019).

Figura 13 – Configurações de OBC: (a) Hella electronics/GaN systems, (b) tesla Model 3/Y, (c) Hyundai vehicle-to-device



Fonte: Acharige et al. (2023)

2.10.2 Integrados

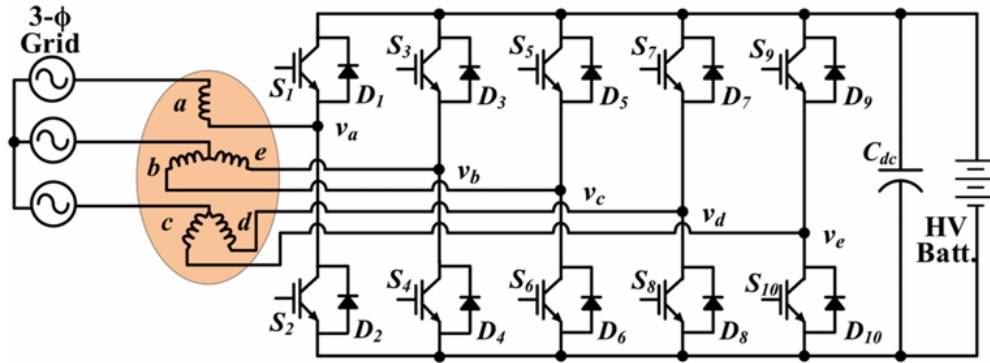
Os OBCs integrados utilizam o sistema de propulsão integrado no EV, motor elétrico e inversor, onde apresentam todos os componentes necessários para um sistema OBC típico. Portanto, com a adição de uma interface *front-end* (rede-motor) ou possível reconfiguração dos enrolamentos do motor, o carregamento de alta potência pode ser realizado sem gerar torque no motor (KHALIGH; D'ANTONIO, 2019)

O inversor de propulsão opera como um conversor CA-CC bidirecional e o enrolamento do motor fornece isolamento galvânico e condutância do filtro. Porém, os motores CA de enrolamento divididos são usados em carregadores integrados não isolados, podendo ser classificados em sistemas de propulsão multi-fases e interface adicional. (ACHARIGE et al., 2023). Contudo, a maioria requer um sistema de propulsão modificado ou uma máquina elétrica projetada sob medida para ser adequada ao modo de operação de carregamento.

Sistemas de Propulsão Multi-Fases: Neste método os indutores da máquina de propulsão (motor) são desacoplados e utilizados como indutores de filtro de entrada para o inversor multifásico, atuando como um conversor CA-CC diretamente conectado à bateria do veículo (KHALIGH; D'ANTONIO, 2019). Um exemplo de circuito com uma máquina de cinco fases é apresentado na Figura 14. Uma vantagem desse sistema é a eliminação da necessidade de componentes adicionais, porém, a implementação pode ser limitada, uma vez que a maioria dos veículos elétricos utiliza máquinas de propulsão trifásicas, sendo inviável a aplicação desse método.

Interface Adicional: Esses sistemas são projetados para integrar a funcionalidade de

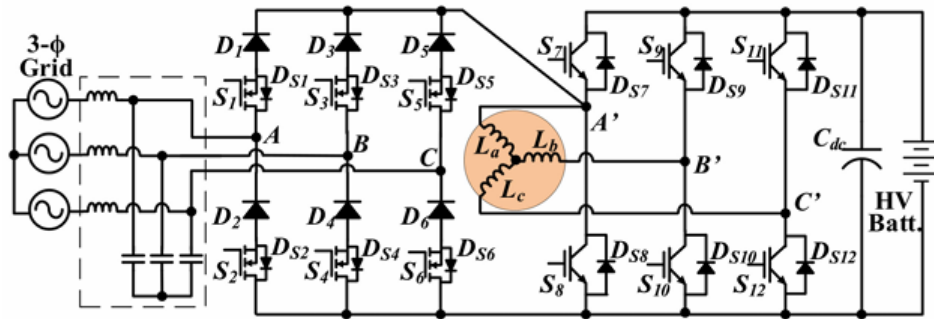
Figura 14 – Sistema de um OBC Integrado Multi-fase



Fonte: Khaligh e D'Antonio (2019)

carregamento sem a necessidade de modificar a máquina de propulsão existente. A interface adicional geralmente consiste em um conversor buck tipo ponte completa e um filtro EMI, que conectam a rede elétrica à máquina de propulsão (KHALIGH; D'ANTONIO, 2019), essa topologia é representada na Figura 15. Embora exija componentes adicionais, essa solução pode ser projetada para ser muito compacta, pois requer apenas seis interruptores, módulos de controle, seis diodos e um filtro EMI.

Figura 15 – Sistema de um OBC Integrado de Interface Adicional



Fonte: Khaligh e D'Antonio (2019)

2.11 UNIDADE DE CONTROLE DO VEÍCULO

A VCU, atua como o principal controlador para a energia em bateria e outros subsistemas, sendo mais incorporado em veículos elétricos e híbridos (DORLECO, 2024).

A VCU busca gerenciar e tomar decisões interagindo com as ECUs dentro do sistema do veículo, com o objetivo de garantir que o veículo opere com eficiência e segurança através do monitoramento dos sistemas críticos, como a saúde da bateria, temperatura do motor e estado de carga. Essas ECUs envolvem, idealmente, sistemas como a unidade de controle do motor (MCU)³⁰, BMS, OBC, painel de instrumentos, e etc. (KAPOOR, 2023).

³⁰ Do inglês *Motor Control Unit*

A VCU pode se comunicar com as ECU's por diversos protocolos, tais como: Rede de área do controlador (CAN)³¹, Rede de Interconexão Local (LIN)³², Barramento Modular (ModBus)³³ e *Ethernet*. Independente da linguagem de comunicação, a VCU visa atribuir funções como regulação do fluxo de energia da bateria com o motor, controle dos sistemas de frenagem regenerativa e carregamento da bateria principal, além de outros processos (KAPOOR, 2023).

2.12 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO CAN

O protocolo de comunicação CAN é simples, porém robusto, permitindo que todas as unidades de controle de um sistema possam enviar e receber mensagens em um único barramento, sendo perfeito para conectar diferentes funcionalidades de um carro, mantendo ao mesmo tempo os custos baixos e uma arquitetura simples (LACERDA; ALVES; NASCIMENTO, 2019).

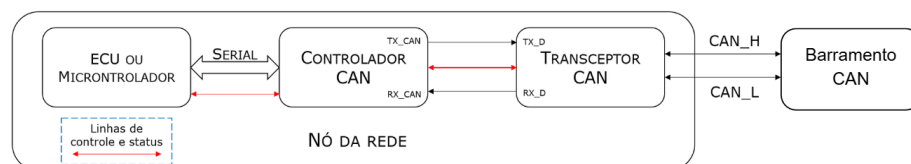
Sendo uma comunicação desenvolvida pela BOSCH GmbH e engenheiros da Intel, o protocolo CAN mantém um sistema de padronização definido pela organização internacional de normalização (ISO)³⁴, mais especificamente pelas normas ISO 11898 e a ISO 11519-2, que determinam as características de uma rede de alta velocidade (125 Kbps até 1 Mbps) e baixa velocidade (10 Kbps até 125 Kbps) (LACERDA; ALVES; NASCIMENTO, 2019).

A ISO 11898 estabelece a padronização do CAN, implementando as camadas física e de enlace de dados do modelo de interconexão de sistemas abertos (OSI)³⁵. Onde a camada física é descrita pela estrutura da rede, e a camada de enlace determina o formato das mensagens que percorrem o barramento além de fornecer os mecanismos de detecção e prevenção de erros (LACERDA; ALVES; NASCIMENTO, 2019).

2.12.1 Estrutura da Rede

A estrutura da rede, ou camada física do modelo OSI, pode ser observada na Figura 16, definindo como os bits vão ser codificados em sinais elétricos, o meio de propagação, comprimentos permitidos para o barramento, tipo de conectores, níveis de tensão e assim por diante (LACERDA; ALVES; NASCIMENTO, 2019).

Figura 16 – Estrutura de Composição Física de uma Rede CAN



Fonte: Adaptado de Lacerda, Alves e Nascimento (2019)

³¹ Do inglês *Controller Area Network*

³² Do inglês *Local Interconnect Network*

³³ Do inglês *Modular Bus*

³⁴ Do inglês *International Organization for Standardization*

³⁵ Do inglês *Open Systems Interconnection*

A estrutura da rede é composta por 4 partes: Microcontrolador, Controlador CAN, transceptor e barramento CAN (LACERDA; ALVES; NASCIMENTO, 2019). Onde três delas correspondem ao nó de rede, conforme a ilustração demonstrativa na Figura 16.

- Microcontrolador/ECU

É a parte na qual recebe os dados dos sensores, sendo responsável pela implementação das camadas superiores nas redes CAN.

- Controlador CAN

O controlador CAN é o componente responsável pela interação entre o microcontrolador e o transceptor, que ocorre entre a conversação entre as linguagens de interface serial periférica (SPI)³⁶, receber e transmitir CAN (RX_CAN)³⁷ e (TX_CAN)³⁸, sendo melhor visualizada na Figura 16. Além disso, é o módulo responsável pela implementação da camada de enlace e, em aplicações automobilísticas, a maior parte das ECUs já possui controladores CAN integrados.

- Transceptor

Segundo Lacerda, Alves e Nascimento (2019), "é o componente que faz a interface entre o controlador CAN e o barramento físico, permitindo que a transmissão de sinal entre esses componentes seja diferencial". Além disso, esse módulo é responsável pela implementação da camada física.

- Barramento

O barramento é o meio pelo qual é feita a comunicação entre as ECUs de uma rede; entretanto, há alguns detalhes que devem ser levados em consideração, como: resistores terminadores de rede e geometria relacionada ao comprimento dos chicotes elétricos (GUIMARÃES, 2007).

Os resistores terminadores são essenciais para que haja o casamento de impedâncias da rede, evitando a reflexão de sinal. Eles são alocados nas extremidades do barramento e os valores mais empregados são 120 Ohms e 124 Ohms. Na Figura 17 é possível observar uma representação da estrutura de rede com o barramento.

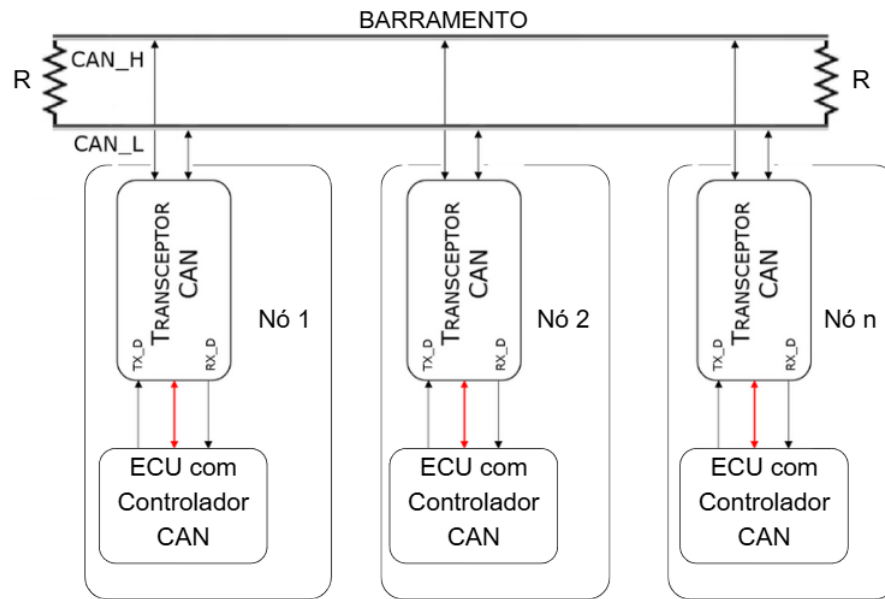
A relação do comprimento de determinados intervalos do chicote no barramento é essencial para manter o sincronismo das operações das ECUs no CAN devido ao tempo de propagação das mensagens.

³⁶ Do inglês Serial Peripheral Interface

³⁷ Do inglês Receive CAN

³⁸ Do inglês Transmit CAN

Figura 17 – Barramento CAN

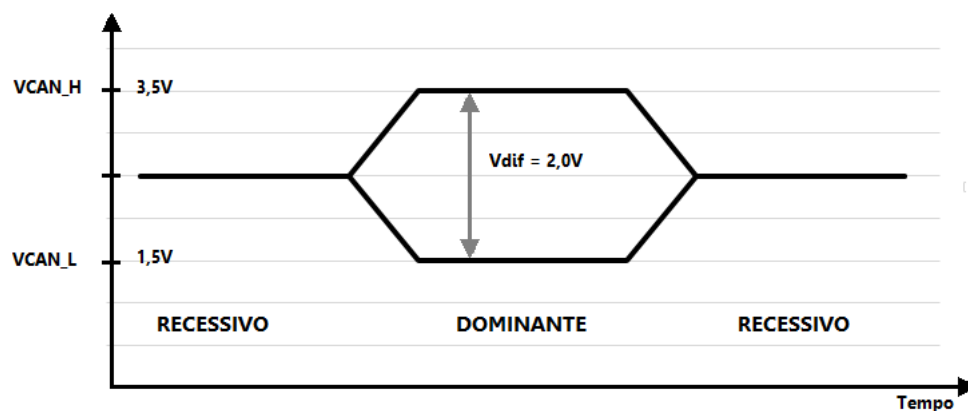


Fonte: Adaptado de Lacerda, Alves e Nascimento (2019)

2.12.2 Níveis Lógicos dos Sinais e Especificações

A comunicação CAN é transmitida por sinais digitais do tipo não retorno a zero (NRZ)³⁹, onde cada bit é transmitido por um valor de tensão específico e constante, sendo normalmente utilizado 1,5V para o bit 0 (dominante) e 3,5V para o bit 1 (recessivo) (LACERDA; ALVES; NASCIMENTO, 2019). O sinal dominante prevalece na determinação do estado do barramento, além disso, esses sinais foram criados em função da condição presente nos fios CAN_H e CAN_L e pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 – Níveis Lógicos de Sinais Dominantes e Recessivos



Fonte: Lacerda, Alves e Nascimento (2019)

³⁹ Do inglês *Non Return to Zero*

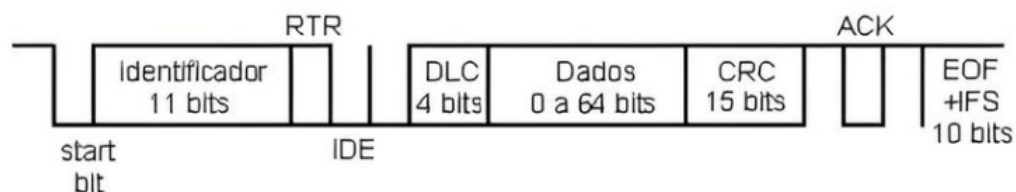
O sistema de acesso múltiplo de detecção de portadora/detecção de colisão (CSMA/CD)⁴⁰ com arbitragem não destrutiva (NDA)⁴¹ do protocolo é responsável pela verificação do estado do barramento, analisando se outro módulo está ou não enviando mensagens com maior prioridade. O módulo com menor prioridade interromperá imediatamente sua transmissão e o módulo com maior prioridade continuará normalmente sua transmissão (GUIMARÃES, 2007).

2.12.3 Formato das mensagens

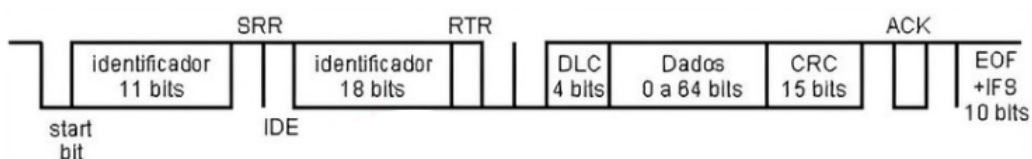
Existem duas formas de mensagens utilizadas na comunicação CAN: CAN 2.0A, também chamado de CAN padrão, e CAN 2.0B, conhecido como CAN estendido, cujos formatos bit a bit são separados em quadros e apresentados na Figura 19. A principal diferença entre esses formatos de mensagens está na extensão de 18 bits adicionais no campo de identificação e na CAN 2.0B, o que amplia a capacidade de endereçamento de mensagens de 2048 para aproximadamente 537 milhões de identificadores únicos (GUIMARÃES, 2007). Além disso, a comunicação CAN 2.0B apresenta um bit chamado de SRR⁴², que serve para garantir que quadros padrão (11 bits) tenham prioridade sobre quadros estendidos.

Figura 19 – Quadros de dados CAN 2.0

CAN 2.0A



CAN 2.0B



Fonte: GUIMARÃES (2007)

A Tabela 7 apresenta maior detalhamento sobre as configurações das mensagens apresentadas na Figura 19, dando uma descrição dos determinados campos da mensagem.

⁴⁰ Do inglês *Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*

⁴¹ Do inglês *Non-Destructive Arbitration*

⁴² Do inglês *Substitute Remote Request*

Tabela 7 – Estrutura da Mensagem CAN

Campo	Bits	Descrição
Início do Quadro (SOF) ⁴³	1	Início da mensagem, com um bit dominante que sincroniza os nós após período ocioso.
Identificador (ID) ⁴⁴	11-29	Define a prioridade da mensagem: valores mais baixos indicam maior prioridade.
Solicitação de Transmissão Remota (RTR) ⁴⁵	1	Indica requisição remota. Dominante quando um nó solicita dados de outro nó.
Extensão do Identificador (IDE) ⁴⁶	1	Indica se o identificador é padrão (11 bits) ou estendido (29 bits).
Bit Reservado	1	Bit reservado para uso futuro.
Código de Comprimento de Dados (DLC) ⁴⁷	4	Informa a quantidade de bytes de dados no campo de dados (0 a 8 bytes para CAN 2.0, até 64 bytes para CAN FD).
Dados	0 – 64	Contém os dados a serem transmitidos.
Verificação de Redundância Cíclica (CRC) ⁴⁸	16	Campo de verificação de erro (detecção de corrupção na transmissão).
Verificação de Erro de Reconhecimento (ACK) ⁴⁹	2	Confirmação de recebimento correto. Todos os nós que receberam a mensagem com sucesso respondem.
Fim do Quadro (EOF) ⁵⁰	7	Indica o final da mensagem CAN. Composto por 7 bits recessivos consecutivos.
Espaço entre Quadros (IFS) ⁵¹	3+	Espaço entre quadros: intervalo mínimo de 3 bits recessivos, usado pelo controlador para processar a mensagem recebida.

Traduções do inglês: 42 *Start Of Frame*; 43 *Identifier*; 44 *Remote Transmission Request*; 45 *Identifier Extension*; 46 *Data Length Code*; 47 *Cyclic Redundancy Check*; 48 *Acknowledge*; 49 *End Of Frame*; 50 *Inter Frame Space*.

Fonte: Adaptado de Smith (2024)

2.12.4 Detecção de Falhas

No tópico anterior, dois campos foram mencionados na Tabela 7, CRC e ACK, que são responsáveis pelos erros presentes nas mensagens. Além disso, a detecção de falhas também conta com uma verificação de erros nos bits pelos transceptores e receptores dos módulos presentes, utilizando métodos como *Bit Monitoring* e *Bit Stuffing*.

- CRC:

O CRC ocorre quando o transmissor calcula um valor em função dos bits da mensagem e o transmite nela, ao qual os módulos receptores recalculam este CRC e verificam se este é igual ao valor transmitido (GUIMARÃES, 2007).

- ACK:

Esse campo visa reconhecer se o nó recebeu a mensagem com sucesso, escrevendo um bit dominante no campo ACK de uma mensagem resposta que é enviada ao módulo transmissor. Entretanto, o bit se mantém recessivo caso esta mensagem resposta não seja recebida, dando a entender que ou a mensagem de dados transmitida está corrompida, ou nenhum módulo a recebeu (GUIMARÃES, 2007).

- *Bit Monitoring*:

Segundo GUIMARÃES, (2007) "Após a escrita de um bit dominante, o módulo transmissor verifica o estado do barramento". Dessa forma, caso o bit lido seja recessivo, significa que existe um erro no barramento.

- *Bit Stuffing*:

Esse sistema permite que apenas cinco bits consecutivos possam ter o mesmo valor, sendo dominante ou recessivo. Dessa forma, caso seja necessário transmitir de modo sequencial seis ou mais bits de mesmo valor, o módulo transmissor se encarrega de inserir um bit de valor contrário, após cada grupo de cinco bits consecutivos iguais. Durante a leitura, o módulo receptor ficará encarregado de retirar este bit (GUIMARÃES, 2007).

2.12.5 Padrões Existentes em Diferentes Aplicações

Existem diversos protocolos industriais padronizados que implementam as camadas superiores do modelo OSI — rede, transporte e aplicação — com base no protocolo CAN. Entre eles, destacam-se:

- CAN_FD⁵²: O CAN_FD é uma extensão da camada de enlace de dados do CAN clássico, aumentando a carga útil de 8 bytes para até 64 bytes, além de permitir uma taxa de transmissão de dados mais alta.
- SAE J1939: Baseado no CAN 2.0B e utilizado em aplicações automotivas de grande porte, especialmente ônibus e caminhões;
- CANopen: O CANopen é amplamente usado em aplicações de controle embarcado, incluindo, por exemplo, automação industrial.
- OBD2⁵³: Diagnóstico a bordo (OBD, ISO 15765) é uma funcionalidade de autodiagnóstico e geração de relatórios que, por exemplo, mecânicos utilizam para identificar problemas no carro.

2.13 SAE J1939

O J1939 é um padrão definido pela SAE que especifica como as informações são organizadas e transmitidas ao longo do barramento de comunicação entre as ECUs, oferecendo um método padronizado de comunicação entre diferentes fabricantes no setor de veículos pesados.

As mensagens J1939 utilizam o formato estendido da CAN (29 bits) e são identificadas por grupos de números de parâmetros (PGNs)⁵⁴ de 18 bits, que fazem parte do identificador

⁵² Do inglês Flexible Data-Rate

⁵³ Do inglês On-Board Diagnostics II

⁵⁴ Do inglês Parameter Group Numbers

CAN. Nessa hierarquia, PGNs com valores mais baixos possuem maior prioridade na rede (CCS, 2023).

O PGN é composto por alguns campos específicos, como: a página de dados (DP)⁵⁵, utilizada para expandir o espaço de endereçamento; o formato da unidade de dados do protocolo (PF)⁵⁶, que define se a mensagem será do tipo ponto a ponto ou difusão (*broadcast*); e o campo específico da unidade de dados do protocolo (PS)⁵⁷, que pode representar o endereço de destino (em ponto a ponto) ou parte do PGN (em *broadcast*). Esses elementos são detalhados na Tabela 8.

Tabela 8 – Estrutura do PGN no identificador J1939 (29 bits)

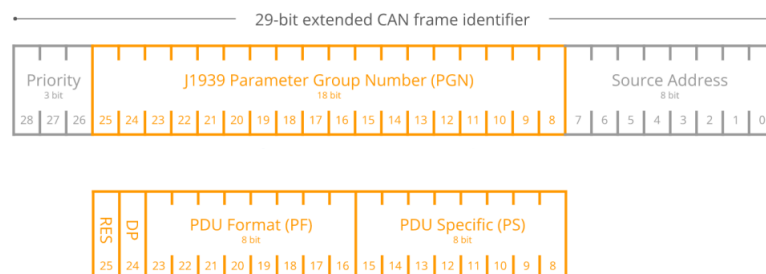
Campo	Tamanho (bits)	Descrição
Reserva	1	Reservado para uso futuro.
DP	1	Expansão do espaço de endereços no protocolo J1939.
PF	8	Define o tipo de mensagem: Endereço ponto a ponto ou mensagem de <i>broadcast</i> .
PS	8	Define o endereço do destino (ponto a ponto) ou complemento do PGN (<i>broadcast</i>).

Fonte: Adaptado de CCS (2023)

Dentro de cada PGN, os sinais específicos são identificados por Suspect Parameter Numbers (SPNs), os quais indicam a posição, tamanho e interpretação de cada parâmetro contido nos bytes de dados da mensagem (CCS, 2023).

A Figura 20 apresenta uma representação esquemática da organização do PGN no identificador CAN estendido de 29 bits, conforme detalhado anteriormente no Tabela 8. Além disso, é possível observar os três bits reservados para o campo *Priority* (Prioridade), responsável por definir o nível de urgência da mensagem, e os oito bits destinados ao campo *Source Address* (Endereço de Origem), que identifica a ECU remetente da mensagem (CCS, 2023).

Figura 20 – Estrutura PNG no ID CAN



Fonte: CCS (2023)

⁵⁵ Do inglês Data Page

⁵⁶ Do inglês Protocol Data Unit Format

⁵⁷ Do inglês Protocol Data Unit Specific

3 COMPONENTES DO SISTEMA DE RECARGA

Nesse capítulo, são abordados os principais componentes utilizados para recarga do veículo; entretanto, o OBC é mencionado apenas no capítulo 4, no qual é elaborado um estudo de caso para uma melhor documentação de sua escolha.

3.1 BATERIA WEG - BPW01

A bateria é o principal componente de um veículo elétrico, cujas características influenciam a operação do restante dos equipamentos, visto que ela é responsável por ditar os limitantes de carga, descarga e frenagem regenerativa. Na Tabela 9 é possível observar as principais características da bateria BPW01 utilizada; além disso, na Figura 21 é possível observar o modelo da bateria.

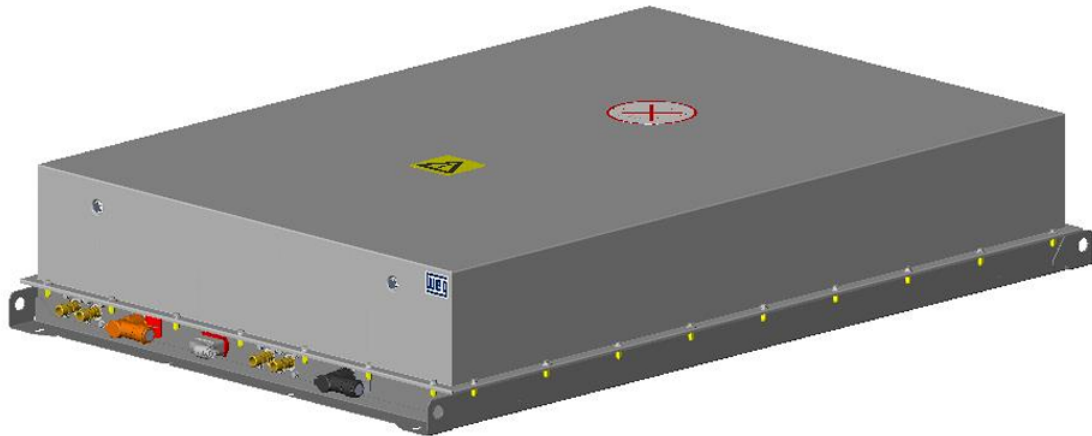
Tabela 9 – Características Técnicas da Bateria WEG - BPW01

Modelo da célula	LFP 205Ah
Energia (String)	73,46 kWh
Quantidade de células	112
Quantidade de caixas	1
Energia eficaz	73,47 kW
Potência de pico	83,80 kW
Corrente 1C	205 Ah
Corrente máxima	370 A em 18 min
Tensão nominal	358,4 Vcc
Tensão mínima de operação	336,0 Vcc
Tensão máxima de operação	408,8 Vcc
Alimentação de comando	12 Vcc
Refrigeração	Qt = 2,12 kW (potência térmica gerada) Fluido = 98,5% água desmineralizada + 1,5% de CORTEC (VpCi®- 649 ou similar) Pressão em cada entrada da caixa: 2 bar. Vazão em cada saída da caixa: 2,3 L/min. Temp.: 22°C a 25°C. Mangueira: 3/4 polegadas
Proteções	• Sobrecorrente • Sobre tensão • Subtensão • Curto Circuito • Sobre temperatura • Subtemperatura
Grau de proteção	IP67
Torques	Parafusos M4: 2,5 N.m, M6: 7 N.m
Peso do String (2 caixas)	545 Kg

Fonte: WEG (2024)

Essa é uma bateria de fosfato de ferro e lítio representada pela ligação química LiFePO_4 , no qual o BMS faz todo o gerenciamento das proteções do sistema através de variáveis chaves, **Max Discharging Current** e Max Regenerative Current usadas na descarga da bateria e Charge Current e Charge Voltage usadas na carga da bateria.

Figura 21 – Bateria WEG - BPW01



Fonte: WEG (2024)

Através dessas variáveis, o BMS é capaz de operar os contadores de potência CC (esses garantem a isolamento galvânica dos terminais da bateria) e contator de pre-carga por meio da comunicação CAN 2.0, além disso, em situações de falhas ou emergências, o próprio BMS pode abrir os contadores como medida de proteção.

O BMS informa aos demais componentes do veículo, por meio do barramento CAN, o estado no qual a bateria se encontra mediante ao byte 'status', uma das variáveis de leitura da bateria apresentada na Tabela 10. Apenas um estado é indicado por vez, sem sobreposição de múltiplos estados simultaneamente.

Tabela 10 – Variável Status da Bateria BPW01

STATUS
Dischgaging
Charging
Balancing
Final_charge
Idle
Charge complete

Fonte:

Fonte: WEG (2024)

O processo de balanceamento (*balancing*), demonstrado na Tabela 10, visa equalizar as tensões das células da bateria no fim do carregamento, levando as tensões das células até uma

margem limite, tornando o sistema mais eficiente em relação à retenção de energia.

Quando em carregamento, o *pack* de baterias é carregado até que o bit de carga completa¹ seja atuado pelo BMS, ou em caso de células desbalanceadas, a recarga pode ser finalizada quando o bit de balancing for atuado, esperando por mais 20 minutos nessa condição.

Caso as células estejam 100% equalizadas, o bit de final de carga² é acionado, sinalizando o fim do carregamento. Sua diferença da carga completa é o tempo de duração mais elevado no estado de balanceamento, levando a uma melhor durabilidade da bateria.

O *Status de Idle* representa o estado em que os contadores CC estão abertos mediante a falhas ou quando o *Enable Charge* ou *Enable Discharge* estiverem atuados.

3.1.1 Erros de Recarga

A lista dos erros da bateria é apresentada no anexo B, porém aqui são abordados os principais erros de sua recarga e suas causas.

- Sobreensão da célula:

Causa: O limite alto no nível de tensão da célula ultrapassado, ocorrendo na carga ou durante o processo de frenagem regenerativa com SOC elevado (entre 95% e 100%).

- Temperatura alta e baixa no local de monitoramento (LMU)³:

Causa: Cada pack de bateria é constituído de submódulos internos, controlados por uma placa eletrônica, cujo atingimento de uma alta temperatura pode danificar os circuitos.

- Sobrecorrente na entrada:

Causa: Limite de corrente de carga excedida ou corrente regenerativa permitida excedida.

- Contator de pré-carga:

Causa: Acionamento do contator de pré-carga do *pack* de bateria com falha. A principal causa desta falha é a identificação do contator colado, onde o circuito não detecta o acionamento do contator.

- Tempo excedido de pré-carga:

Causa: Quando o tempo de pré-carga é excedido e os limites aceitáveis para o nível de corrente ultrapassam os limites de configuração do BMS, levando à queima do fusível de proteção.

- Contator principal (positivo/negativo):

Causa: O acionamento do contator (positivo/negativo) do pack de bateria com falha devido à identificação de contator colado, onde o circuito não detecta o acionamento do contator.

¹ Do inglês *Charge Complete*

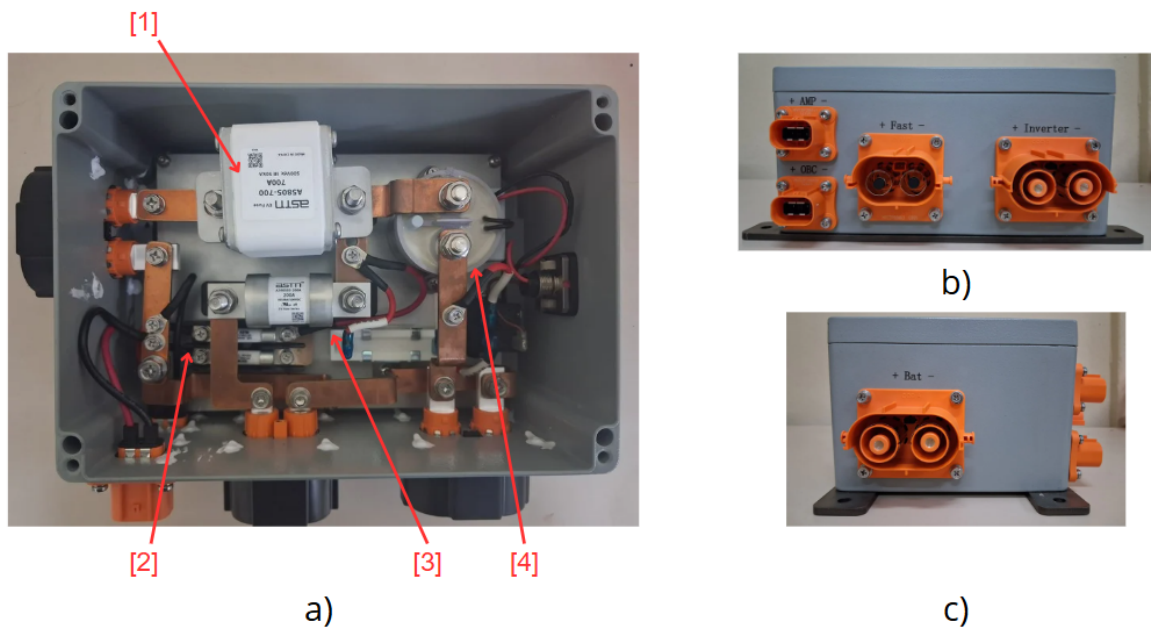
² Do inglês *final charge*

³ Do inglês Local Monitoring Unit

3.2 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA

O Unidade de Distribuição de Energia (PDU) ⁴ é um sistema de distribuição da energia da bateria principal do veículo, contendo as devidas proteções por meio de fusíveis e contatores. O PDU utilizado na van do projeto ELETRIFICA está presente na Figura 22, sendo uma demonstração dividida em três partes: a), b) e c). O respectivo PDU é responsável por ramificar a alimentação para os seguintes circuitos: APM, OBC, Sistema de Recarga CC e o Sistema Powertrain.

Figura 22 – PDU



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Na Figura 22 a) as proteções são enumeradas para melhor compreensão, sendo elas:

1. Fusível de 700 A para o barramento principal;
2. Fusíveis de 10 A e 20 A para carregamento da bateria auxiliar e carregamento lento;
3. Fusível de 200 A para o carregamento rápido;
4. Contatora de pré-carga;

3.3 FT 450

É uma ECU pré-programável, desenvolvida pela empresa brasileira FuelTech, sendo capaz de gerenciar motores a combustão de ciclo Otto (até 8 cilindros) e Wankel (até 2 rotores),

⁴ Do inglês *Power Distribution Unit*

suportando controle de injeção em modo sequencial, semissequencial e multiponto (FUELTECH, 2024).

A FT450, pode atuar como uma VCU, sendo possível configurar o "Modo do veículo" para "Elétrico", o que oculta as funções de motores a combustão, ou "Híbrido", que exibe ambas as funções. A comunicação entre a VCU e os módulos de controle do sistema de eletrificação é feita através do protocolo CAN, onde a VCU é programada para atender às configurações de seus respectivos sistemas, como Power Train (Inversor/Motor), gerenciamento da bateria (BMS, SOC), conversor CC-CC para carregar a bateria de 12V, controle do carregador On-Board (OBC) e alertas específicos para veículos eletrificados (FUELTECH, 2024). O papel da VCU nesse trabalho é interpretar quando o veículo está em modo de carregamento, informar o percentual de carga do veículo e sinalizar que o veículo está em recarga.

Figura 23 – FT450



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

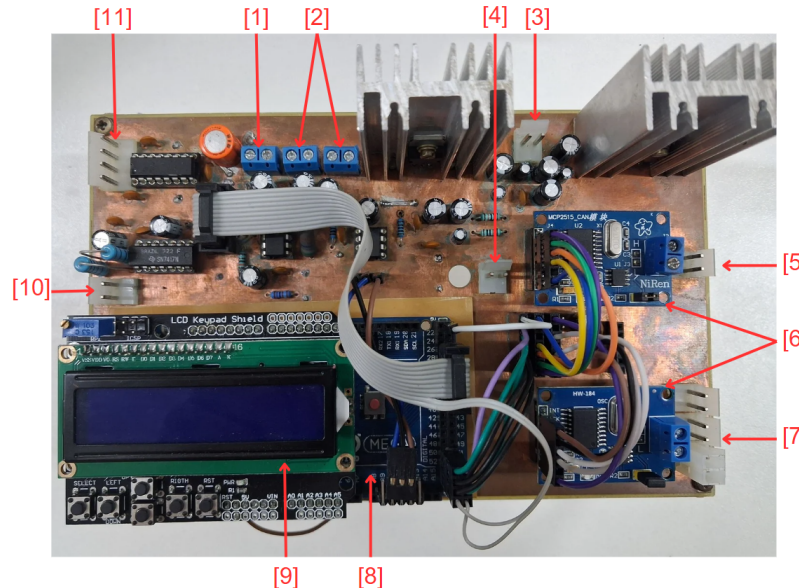
3.4 ECU AUXILIAR

Essa é uma placa desenvolvida durante o processo de assimilação da norma IEC 61851 com o OBC escolhido, integrando também circuitos adicionais de leitura de temperatura, dois barramentos CAN para isolamento das comunicações, controle do motor de intertravamento, verificação de estado e controle do pino enable do APM, além de um sistema de exibição de erros da bateria, OBC e APM em um display de cristal líquido (LCD)⁵. Seu principal objetivo é gerenciar o sistema de carga lenta em conformidade com as normas IEC, onde, em caso de erros ou alarmes reportados no LCD, o sistema deve interromper o processo e aguardar a devida manutenção. Além disso, essa ECU também deve se comunicar com a VCU, de forma a

⁵ Liquid Crystal Display

garantir que não haja conflitos de comunicação entre o sistema de recarga e descarga. A placa desenvolvida pode ser observada na Figura 24, onde também são apresentadas suas principais características, sendo entradas, saídas e componentes.

Figura 24 – ECU Auxiliar



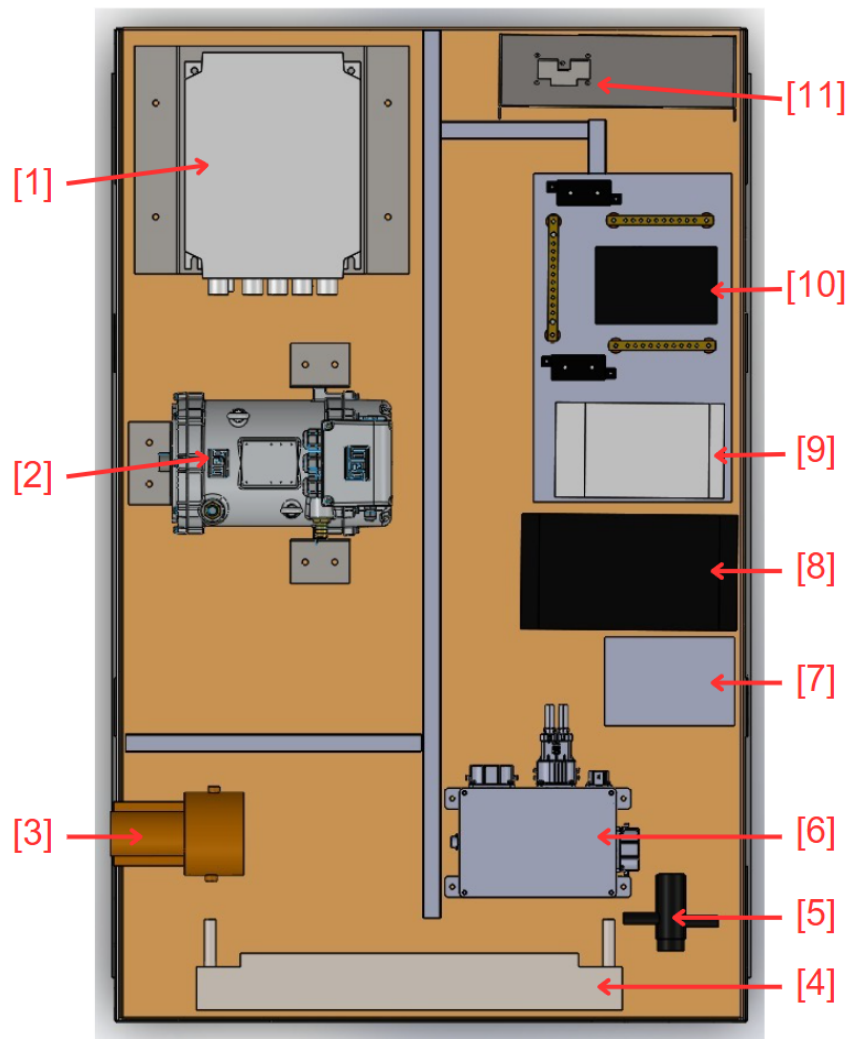
Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

1. Esse conector apresenta as entradas de leitura do pino CP e PP;
2. Esses dois conectores são as entradas do sensor PT1000, presente no plug fixo do veículo;
3. Entrada de 12V da ECU auxiliar;
4. Alimentação do externa do Arduíno (pino VIN);
5. Barrameto CAN 1, esse é o barramento no qual está ligado ao CAN da bateria, VCU e inversor;
6. Módulo MCP 2515, é um módulo capaz de converter a mensagem CAN para serial;
7. Barramento CAN 2, esse é um barramento isolado apenas para o APM e OBC, com objetivo de filtrar e gerenciar as mensagens entre o OBC, APM e a bateria;
8. Arduino MEGA 2560;
9. Módulo display LCD para arduino com botões já integrados;
10. Entrada e saída referente ao acionamento do APM;
11. Sistema motor de intertravamento;

3.5 BANCADA DE OPERAÇÕES

Consiste no conjunto geral de eletrificação da van do projeto eletrifica, sendo apresentado na Figura 25. A bancada é composta por powertrain, sendo o inversor [1] e motor [2], bomba hidráulica de refrigeração do powertrain [3], radiador [4], bomba hidráulica de refrigeração da bateria [5], PDU [6], ECU auxiliar [7], OBC [8], APM [9], caixa de fusíveis [10], VCU [11] e a bateria que está abaixo da bancada.

Figura 25 – Bancada TCC

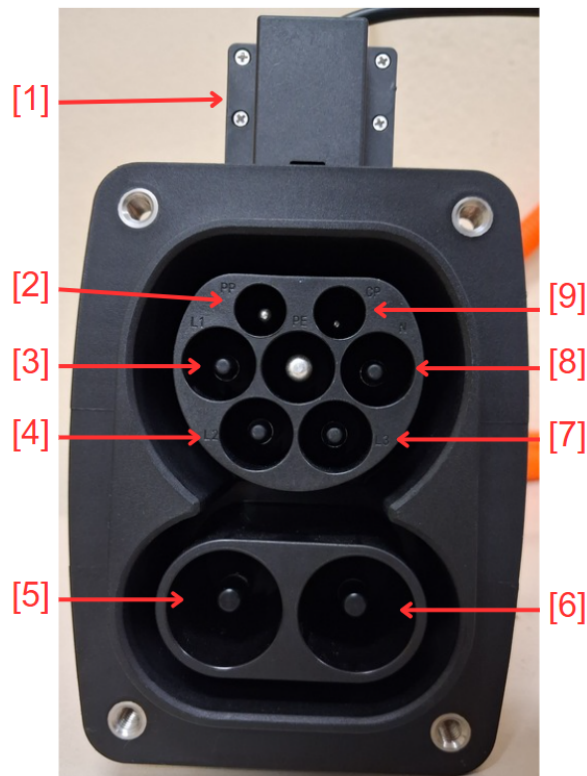


Fonte: Santos (2025)

3.6 PLUG FIXO CCS COMBO2 TIPO 2

Para melhor atendimento do projeto, o plug adquirido do padrão europeu é do tipo 2, podendo ter cargas CA e CC, sendo apresentado na Figura 26. O plug suporta cargas CA de até 36 A, trifásico/monofásico e cargas CC de até 200 A, e possui sensores de temperatura para recarga CC.

Figura 26 – Plug Adquirido



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

O plug apresentado na Figura 26 é composto pelos pinos PP[2], CP[9], as fases da rede alternada L1[3], L2[4], L3[7] os terminais para conexão em corrente contínua, DC+[5] e DC-[6], além do motor de intertravamento [1].

3.7 CONCLUSÃO DE CAPÍTULO

Nesse capítulo, foram apresentados todos os componentes utilizados para a implementação do sistema de carga lenta, ressaltando a importância da participação de cada componente citado para o funcionamento do conjunto.

As especificações se desenvolveram inicialmente pela bateria, que se destaca como elemento principal de um veículo elétrico, apresentando seus limites de carga, descarga, além do detalhamento do gerenciamento do BMS.

Em seguida, é apresentado o PDU, que é responsável pela distribuição de potência, a VCU, que coordena o sistema PT, a ECU auxiliar, que gerencia o processo de carga lenta, o plug fixo para carregamento e a bancada do projeto, onde engloba todo o conjunto.

Em suma, este capítulo demonstrou que a implementação de um sistema de carga lenta não depende apenas do OBC, havendo outros componentes que podem interferir diretamente na carga. De modo que a comunicação entre a bateria, ECU auxiliar e VCU é indispensável para o funcionamento que garanta a segurança na recarga.

4 ANÁLISE DE OPÇÕES E ESCOLHA DO OBC

Neste capítulo será analisada uma série de conversores OBCs com o intuito de procurar a opção que atenda melhor à viabilidade do projeto e suas necessidades. Dessa forma, na Tabela 11 é possível observar as opções selecionadas para análise.

Tabela 11 – Comparação de Modelos de OBC

Modelo	Preço	Marca	Potência Nominal	Eficiência	Modo de Operação
 DA20KM24-380S360C	U\$ 4.564,17	Dilong	20 kW, 9,9 kW e 6 kW	94%	Trifásico / Monofásico
 DA10KM31E-380S360C	U\$ 2.852,99	Dilong	9,9 kW	93%	Trifásico
 DA6K6M20C-360C	U\$ 951,34	Dilong	6,6 kW	94%	Monofásico
 RA6P6360	U\$ 886,11	Ovar	6,6 kW	94%	Monofásico
 DA3K3M17E-360C	U\$ 674,65	Dilong	3,3 kW	93%	Monofásico

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Nota-se que o Tabela 11 foi complementado com informações da folha de dados dos respectivos produtos, além dos preços estabelecidos pelos fabricantes. Os preços citados acima podem variar conforme o mercado nacional e internacional, fazendo com que mudem regularmente, mas essa pesquisa foi realizada em 18 de novembro de 2024, com o dolar em U\$ 5,76. Além disso, vale ressaltar que não foram incluídos o frete e impostos cobrados nessa análise.

4.1 DA20KM24-380S360C

Como demonstrado no Tabela 11, esse modelo da Dilong possui uma eficiência de 94%, junto a operação de três níveis de potência, que variam conforme a variação da tensão de entrada, sendo apresentados no quadro 12. Além disso, esse equipamento deve operar com um esquema de ligação trifásica TN-S, ou em ligação monofásica, onde fase deve ser atribuída a um conector específico do ponto de entrada. O OBC mencionado possui um tamanho de 58,6 cm x 37,4 cm x 13,9 cm e pode ser melhor observado na Figura 27.

Tabela 12 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do DA20KM24

Faixa de Tensão Alternada de Entrada	147V a 190 V	198 a 304 V	305 a 475 V
Potência de Saída	6 kW MAX	9.9 kW MAX	20 kW MAX

Fonte: Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

Como meio de padronização em alguns de seus produtos, a Dilong oferece neste OBC uma correção do fator de potência ativa resultando em poluição zero à rede, além de uma comunicação CAN2.0B e uma fonte auxiliar de 12 V e 2 W. Por sua vez, o modo de carregamento, também padronizado, adota potência constante, tensão constante e transição automática de estado de corrente constante, o que efetivamente economiza tempo de carregamento. Essas informações também valem para os modelos DA10KM31E-380S360C, DA6K6M20C-360C e DA3K3M17E-360C.

Figura 27 – OBC Dilong DA20KM24-380S360C



Fonte: Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

Os padrões de conexão desse OBC são dos seguintes modelos:

- PL084X-41-6: Conector de entrada trifásico.
- RT00128PN03: Conector de comunicação CAN2.0B.
- EHV212LS19M6A: Conector de saída CC para alta tensão.

As principais características do respectivo OBC não apresentadas na Tabela 11 são apresentadas na Tabela 13, além disso, para uma melhor comparação mais informações são apresentadas na sub-seção de **Comparação Final** 4.6.

Tabela 13 – Principais Características do DA6K6M20C-360C

DA20KM24-380S360C	
Tensão RMS Nominal de Entrada	380 V (3 fases) 220 V (3 fases ou 1 fase)
Faixa de Tensão RMS de Entrada	147 V ~ 457 V (3 fases) 85 V ~ 267 (1 fase)
Corrente Máxima de Entrada	32 A
Faixa da Frequência de Entrada	45 Hz~63 Hz
Corrente de entrada THD	<5% 390 V $P_o \leq 20 \text{ kW}$ e $V_o \geq 360 \text{ V}$ $f=50 \text{ Hz}$
Tensão nominal de saída	360 V
Faixa da Tensão de Saída Contínua	250 V~450 V
Corrente nominal de Saída CC	55 A
Faixa da Corrente de Saída CC	$\leq 60 \text{ A}$
Potência de saída nominal	20 kW - 3 fases 9,9 kW - 3 fases 6 kW - 1 Fase

Fonte: Adaptado de Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

4.2 DA10KM31E-380S360C

O carregador adota *all-digital resonant frequency modulation technology*, que consiste no processamento e controle digital, alcançando uma eficiência de 93% e potência nominal de 9.9 kW, como demonstrado na Tabela 11. Este modelo de OBC opera apenas na topologia trifásica com esquema TN-S, porém ele possui um sistema de redução da potência de saída conforme a variação na tensão de entrada, esse sistema fica mais claro observando a Tabela 14.

Tabela 14 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do DA10KM31E

Faixa de Tensão Alternada de Entrada	147 V a 303 V	303 a 457 V
Potência de saída	3,6 kW MAX	9.9 KW MAX

Fonte: Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

Os padrões de conexão desse OBC são dos seguintes modelos:

- PL084X-41-6: Conector de entrada trifásico.
- RT00128PN03: Conector de comunicação CAN2.0B.
- EHV212LS19M6A: Conector de saída CC para alta tensão.

As dimensões deste OBC são de 44,6 cm x 35 cm x 13,3 cm sendo largura, comprimento e altura, podendo ser melhor observado na Figura 28. As características do OBC que não foram incluídas na Tabela 11, estão listadas na Tabela 15.

Figura 28 – OBC Dilong DA10KM31E-380S360C



Fonte: Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

Tabela 15 – Principais Características do DA10KM31E-380S360C

DA10KM31E-380S360C	
Tensão RMS Nominal de Entrada	380 V
Faixa de Tensão RMS de Entrada	147V ~ 457 V (9,9 kW) 85 V ~ 264 V (3,6 kW)
Corrente Máxima de Entrada	16 A
Faixa da Frequência de Entrada	45 Hz~63 Hz
Corrente de Entrada THD	<5% 380 V $P_o \leq 9,9 \text{ kW}$ e $V_o \geq 360 \text{ V}$ $f=50 \text{ Hz}$
Tensão Nominal de Saída	360 V
Faixa da Tensão de Saída Contínua	210 V~420 V
Corrente Nominal de Saída CC	27,5 A
Faixa da Corrente de Saída CC	$\leq 30 \text{ A}$
Potência de Saída Nominal	9,9 kW

Fonte: Adaptado de Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

4.3 DA6K6M20C-360C

O presente OBC adota processamento e controle digital, alcançando uma eficiência de 94%, potência nominal de 6,6 kW com operação confiável em diferentes níveis de potência, como demonstrado na Tabela 11. Com operação em topologia monofásica, esse modelo de OBC possui um sistema de redução da potência de saída conforme a variação na tensão de entrada, essa variação é expressa na Tabela 16.

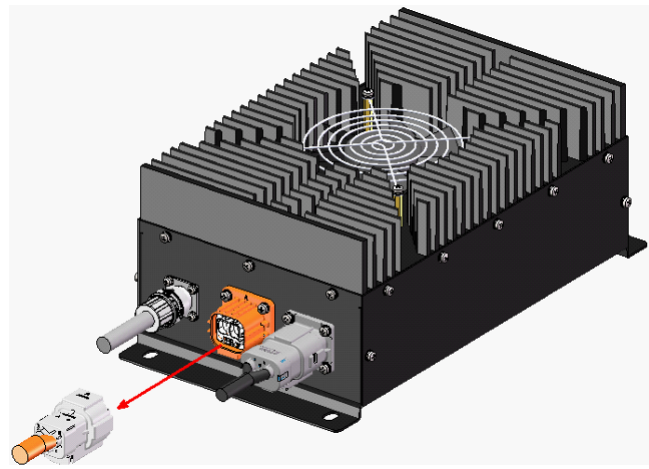
Tabela 16 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do DA6K6M20C

Faixa de Tensão Alternada de Entrada	85 V a 110 V	115 V a 175 V	176 V a 264 V
Potência de saída	2 kW MAX	3,3 KW MAX	6,6 KW MAX

Fonte: Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

Este OBC é menor em relação aos demais tendo suas dimensões de 20,5 cm x 35,9 cm x 12,8 cm sendo largura, comprimento e altura, podendo ser melhor observado na Figura 29. As principais características do respectivo OBC não apresentada na Tabela 11 são apresentadas na Tabela 17.

Figura 29 – OBC Dilong DA6K6M20C-360C



Fonte: Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

Tabela 17 – Principais Características do DA6K6M20C-360C

DA6K6M20C-360C	
Tensão RMS Nominal de Entrada	220 V
Faixa de Tensão RMS de Entrada	85 V a 264 V
Corrente Máxima de Entrada	32 A
Faixa da Frequência de Entrada	45 Hz~63 Hz
Corrente de entrada THD	$< 5\%$ 230 V $P_o \leq 6600W$, $V_o \geq 360V$ $f=50$ Hz
Tensão nominal de saída	360 V
Faixa da Tensão de Saída Contínua	250 V a 450 V
Corrente nominal de Saída CC	18,3 A
Faixa da Corrente de Saída CC	$\leq 20A$
Potência de Saída Nominal	6,6 kW

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Os padrões de conexão desse OBC são dos seguintes modelos:

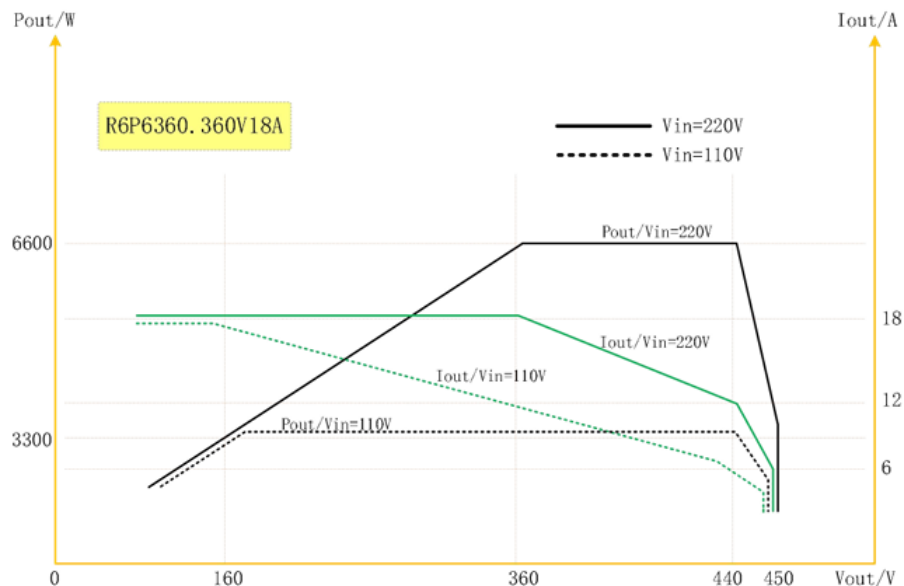
- HV02-F3P(40A)-MA-1: Conector de entrada monofásico.

- RT00128PN03: Conector de comunicação CAN2.0B.
- EVH2-N2ZJ-TA: Conector de saída CC para alta tensão.

4.4 RA6P6360

Essa máquina é projetada com tecnologia de controle digital completo, alcançando uma eficiência de 94%, uma potência nominal de saída de 6,6 kW, como demonstrado na Tabela 11. Adotando o modelo de comunicação CAN esse modelo de OBC opera em topologia monofásica com um sistema de redução de potência de saída conforme a variação de tensão de entrada. Esse fenômeno pode ser observado na curva de carga presente na Figura 30. Esse OBC não possui um sistema de fonte auxiliar como os modelos padrão Dilong mencionados.

Figura 30 – Curva de Carga do RA6P6360



Fonte: OVAR, 2023

De forma resumida e padrão, essa informação presente na curva de carga pode ser resumida na Tabela 18 "Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do RA6P6360".

Tabela 18 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do RA6P6360

Faixa de Tensão Alternada de Entrada	90 V a 110 V	110 V a 220 V
Potência de saída	3,3kW MAX	6,6KW MAX

Fonte: Adaptado de Ovar, 2023

Os padrões de conexão desse OBC são dos seguintes modelos:

- FPL20N216A3PN: Conector de entrada monofásico.
- FPT20021212APN: Conector de comunicação CAN2.0B.

- FPT200216A2PN: Conector de saída CC para alta tensão.

O RA6P6360 da Ovar possui um porte relativo ao modelo DA6K6M20C da Dilong, sendo 21,1x30,2x11,3 cm correspondendo a largura, comprimento e altura. A Figura 31 demonstra a estrutura do OBC mencionado.

Figura 31 – OBC Ovar RA6P6360



Fonte: OVAR, 2023

As principais características elétricas deste modelo são apresentadas no modelo padrão adotado na Tabela 19. As demais características serão apresentadas no capítulo de comparação 4.6.

Tabela 19 – Principais Características do RA6P6360

RA6P6360	
Tensão RMS Nominal de Entrada	220V
Faixa de Tensão RMS de Entrada	90V~265V
Corrente Máxima de Entrada	32A
Faixa da Frequência de Entrada	45~65Hz
Corrente de entrada THD	-
Tensão nominal de saída	360V
Faixa da Tensão de Saída Contínua	0~500V
Corrente nominal de Saída CC	18A
Faixa da Corrente de Saída CC	$\leq 18A$
Potência de saída nominal	6,6kW

Fonte: Adaptado de Ovar, 2023

4.5 DA3K3M17E-360C

DA3K3M17E-360C é um conversor de potência de comutação OBC, que adota *all-digital resonant frequency modulation technology*, alcançando uma eficiência de 94%, potência nominal de 6,6 kW. Esse modelo pode ser alimentado por uma topologia de rede monofásica ou por uma alimentação CC e seu sistema de redução de potência de saída conforme a variação na tensão de entrada é expressa na Tabela 20.

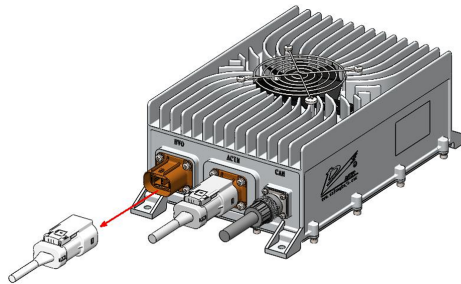
Tabela 20 – Limitações de Potência Conforme a Tensão de Entrada do DA3K3M17E

Entrada CA		
Faixa de tensão de entrada	85 V~175 V	175 V~265 V
Potência de saída	2 kW MAX	3,3 KW MAX
Entrada CC		
Faixa de tensão de entrada	210 V~250 V	250 V~420 V
Potência de saída	2 kW MAX	2.5 KW~3.3 KW MAX

Fonte: Adaptado de Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

Esse modelo de OBC é conhecido por ser pequeno leve e eficiente, onde suas dimensões 19,4 cm x 31,6 cm x 10,8 cm correspondendo a largura, comprimento e altura. O OBC é demonstrado na Figura 32 .

Figura 32 – OBC Dilong DA3K3M17E



Fonte: Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

As principais características elétricas deste modelo são apresentadas no modelo padrão adotado na Tabela 21. As demais características serão apresentadas no capítulo de comparação 4.6.

Tabela 21 – Principais Características do DA3K3M17E

DA3K3M17E-360C	
Tensão RMS Nominal de Entrada	220V
Faixa de Tensão RMS de Entrada	85 V~265 V
Faixa de Tensão contínua de Entrada	210 V~420 V
Corrente CA Máxima de Entrada	16A
Corrente CC Máxima de Entrada	10A
Faixa da Frequência de Entrada	45~65Hz
Corrente de entrada THD	<5% 230V, $P_o \leq 3,3kW$, $V_o \geq 360V$, $f=50Hz$
Tensão nominal de saída	360V
Faixa da Tensão de Saída Contínua	210V~420V
Corrente nominal de Saída CC	9,16A
Faixa da Corrente de Saída CC	$\leq 10A$
Potência de saída nominal	3,3kW

Fonte: Adaptado de Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

Os padrões de conexão desse OBC são dos seguintes modelos:

- KHVA280 02 3A: Conector de entrada monofásico.
- RT00128PN03: Conector de comunicação CAN2.0B.
- KHVA630 02 2A: Conector de saída CC para alta tensão.

4.6 COMPARAÇÃO FINAL

Os OBCs pré-selecionados apresentados na Tabela 11 foram escolhidos conforme as necessidades da bateria especificada no Capítulo 3 além de uma refrigeração a ar, visto que o projeto do sistema de refrigeração do powertrain já estava em andamento e adições de componentes no sistema de refrigeração a líquido poderia acarretar em mudanças bruscas no projeto.

Dessa forma, as principais características dos carregadores de bordo selecionados nos tópicos anteriores atendem as necessidades do projeto, mas para uma análise mais aprofundada os outros itens foram divididos nas seguintes classes:

4.6.1 Proteção Contra Temperaturas Elevadas

Esse sistema funciona de forma que quando o OBC chega em uma determinada temperatura, sua potência é reduzida com intuito de reduzir o calor dissipado no OBC. E se mesmo assim a temperatura continuar subindo e chegar ao *full stop* (ponto final de temperatura) o OBC é desligado imediatamente afim de evitar danos permanentes ao conversor.

Na Tabela 22 é possível observar a comparação entre os modelos pré-selecionados, além disso o modelo RA6P6360 se destaca em operação em elevadas temperaturas, porém a margem para retomar a operação é um pouco preocupante visto que o OBC não esfriou o suficiente. OBS: A temperatura de retorno da operação só deve ser levada em consideração caso o OBC já tenha sido interrompido por temperatura.

Tabela 22 – Comparação de Proteção de Temperatura

Modelo	Temperatura em que a potência é reduzida (°C)	Potência Reduzida por Grau Celsius (W)	Temperatura em que Retoma a Operação (°C)	Temperatura em que o OBC Interrompe a Operação (°C)
DA20KM24-380S360C	80	900	65	90
DA10KM31E-380S360C	70	450		80
DA6K6M20C-360C	80	300		90
RA6P6360	75	-	85	95
DA3K3M17E-360C	70	153	65	80

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

4.6.2 Principais Sistemas de Proteção

Essa seção mostra os diferentes sistemas de proteções empregados na Tabela 23, porém devido a maioria dos produtos serem da Dilong, adotando sua padronização, apenas o modelo da Ovar acaba sendo diferente, não apresentando proteção contra sobrecorrente na saída e possuindo um sistema de proteção contra polarização reversa.

Tabela 23 – Sistemas de Proteção

Modelo	Sobretensão e Subtensão Entrada e Saída	Sobre corrente na Saída	Curto-circuito Saída	Polarização Reversa na Saída
DA20KM24-380S360C	Possui	Possui	Possui	Não possui
DA10KM31E-380S360C				
DA6K6M20C-360C				
RA6P6360		Não possui		Possui
DA3K3M17E-360C		Possui		Não possui

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

4.6.3 Normas Empregadas

Essa classe apresenta as diferentes normas aplicadas nos carregadores de bordo pré-selecionados. Um fato importante a ser comentado sobre a Tabela 24 é que a Dilong não apresenta a norma utilizada para a correção dos harmônicos de correntes, porém os limites respeitados são apresentados de forma diferente, podendo ser observados nas tabelas de principais características. A Ovar menciona a norma utilizada mas não estabelece esses limites, entretanto, as duas fornecedoras apresentam um fator de potência quase unitário na rede de entrada.

Tabela 24 – Principais Normas Empregadas

Modelo	Correntes Harmônicas	Imunidade Eletromagnética	Interferência Eletromagnética	Padrão de Segurança
DA20KM24-380S360C	-	GB/T18487.3-2001, 11.3.1	GB/T18487.3-2001, 11.3.2	GB4943-2011 IEC60950
DA10KM31E-380S360C				
DA6K6M20C-360C				
RA6P6360	GB17625.1-2003			-
DA3K3M17E-360C	-			

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

A norma GB/T 18487.3 é padronizada em todos os modelos escolhidos e regula as emissões eletromagnéticas desses equipamentos e a capacidade de um equipamento resistir a interferências externas, como campos eletromagnéticos ou surtos de tensão. Essa norma é relativa a IEC 61851.

4.6.4 Viabilidade dos Modelos

Essa seção visa esclarecer a viabilidade dos modelos pré-selecionados comparando critérios básicos, como custo, garantia e suporte dos fornecedores, demonstrando essa comparação na Tabela 25.

Tabela 25 – Viabilidade

Modelo	Preço (R\$)	Garantia	Suporte
DA20KM24-380S360C	25.835,22 + Entrega e Impostos	1 Ano	Guia de usuário, vídeos de instalação e atendimento online.
DA10KM31E-380S360C	11.013,53 + Entrega e Impostos		
DA6K6M20C-360C	5.385,04 + Entrega e Impostos		
RA6P6360	5.016,00 + Entrega e Impostos	2 Anos	Guia de usuário e outras formas de suporte.
DA3K3M17E-360C	3.886,00 + Entrega e Impostos	1 Ano	Guia de usuário, vídeos de instalação e atendimento online.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Em relação a custo, o modelo da Dilong DA3K3M17E se destaca, mas a Ovar oferece dois anos de garantia, o que faz uma diferença em relação a OBCs refrigerados a ar, lembrando que o Brasil é um país tropical com diversas variações de temperaturas. Essa, na verdade, é a garantia mínima ofertada pelo fornecedor podendo ser acordada com uma remuneração adequada.

Ambas as empresas oferecem suporte à instalação de seus produtos, porém a Dilong aparenta ter mais opções nesse ramo. A Ovar não especificou as "outras formas de suporte" sendo uma análise de comparação imprecisa.

4.6.5 Estrutura dos Modelos Pré-selecionados

Este tópico visa demonstrar as diferenças físicas dos modelos apresentados na Tabela 26. Dito isso, uma informação notória dessa tabela são as normas de resistência de impacto do modelo, cuja a Dilong utiliza o padrão chinês recomendado para automóveis QC/T, e a Ovar utiliza um padrão GB/T para equipamentos genéricos. Além disso, apesar de apresentar em suas folhas de dados que a vida útil dos equipamentos, a Dilong não apresenta uma norma específica de testes para durabilidade.

Tabela 26 – Estrutura dos Modelos

Modelo	Dimensões (cm)	Resistência ao impacto	Peso (Kg)	Grau de Proteção
DA20KM24-380S360C	58,6x37,4x13,9	QC/T 895-2011:7.8.1	32±0,5	IP66
DA10KM31E-380S360C	44,6x35x13,3		18±0,5	
DA6K6M20C-360C	20,5x35,9x12,8		9±0,5	
RA6P6360	21,1x30,2x11,3	GB/T15139-1994	9±0,5	IP67
DA3K3M17E-360C	19,4x31,6x10,8	QC/T 895-2011:7.8.1	6±0,5	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

4.7 CONCLUSÃO

O modelo DA20KM24-380S360C seria ideal devido à sua operação em modo trifásico e monofásico, fazendo com que chegue a uma potência de operação de 20 kW. Porém, o custo desse equipamento com taxação de 100% é fora de cogitação, não sendo viável para o projeto.

O modelo DA10KM31E-380S360C não especifica nada sobre ligações monofásicas em sua folha de dados, dando a interpretar que só opera de modo trifásico. E dada a situação atual de ingresso dos carros elétricos no Brasil, seria difícil e inviável encontrar apenas pontos de recarga trifásicos durante uma viagem ou até mesmo nas cidades.

O modelo DA3K3M17E-360C era um forte candidato devido a suas características, monofásico de pequeno porte e extremamente leve. Mas a potência entregue de 3,3 kW não vai ser suficiente para a bateria de 73 kW, levando muito tempo para uma carga completa.

Dessa forma, restam apenas dois modelos DA6K6M20C-360C e RA6P6360 com dados semelhantes. Porém, esses modelos possuem suas vantagens e desvantagens como, por exemplo, o RA6P6360 consegue operar em temperaturas um pouco mais altas, tem proteção contra polarização reversa na saída, grau de proteção IP67, além de ser relativamente mais barato, possuindo no mínimo dois anos de garantia do produto. Em contrapartida, o modelo DA6K6M20C-360C apresenta um sistema de proteção para sobrecorrente na saída, evitando danos à bateria, além de um maior suporte para instalação, reduzindo a chance de problemas futuros.

Contudo, visando uma compra simples e não burocrática, a utilização de plataformas internacionais de compra como o Alibaba veio a facilitar a aquisição do DA6K6M20C-360C, que assim foi escolhido.

5 FUNCIONAMENTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES

Este capítulo apresenta o funcionamento dos equipamentos utilizados para recarga, para melhor compreensão do entendimento do projeto como um todo.

5.1 RESUMO DE FUNCIONAMENTO DO OBC DA6K6M20C-360

No anexo A é apresentado um fluxograma capaz de explicar o funcionamento geral do OBC, sendo iniciado com a ativação da saída auxiliar e o envio de mensagens CAN ao BMS. Após isso, são verificadas as conexões da entrada CA e da bateria, onde, caso haja a conexão correta, o OBC aguarda comandos do BMS e verifica suas possíveis falhas. Ao receber a solicitação de carga com especificações de tensão e corrente, o carregamento é iniciado e só encerra a operação quando o BMS solicita o encerramento ou caso haja falhas no OBC.

5.1.1 Processo de comunicação

Esse modelo de OBC utiliza o padrão de comunicação da SAE J1939, contendo uma taxa de transmissão de comunicação CAN autoadaptativa (250 kbps ou 500 kbps), não possuindo resistores de terminação.

De forma geral, o carregador deve receber uma mensagem com informações de tensão máxima de saída, corrente máxima de saída e modo de operação, e deve retornar três mensagens contendo tensão de entrada e saída, corrente de entrada e saída, erros, temperatura, além da versão de software e hardware.

Essas mensagens devem ocorrer em um intervalo de um segundo e, se o OBC não identificar nenhuma mensagem enviada durante cinco segundos, o erro "falha de comunicação" é enviado e o OBC é desligado. Os erros exibidos pelo OBC são apresentados no Tabela 27.

Tabela 27 – Descrição dos bits de erro

Bit	Erro
0	Proteção de Hardware
1	Proteção de Temperatura
2	Tensão de Entrada
3	Detecção da Bateria
4	Status de Comunicação

5.2 PROCESSO DE COMUNICAÇÃO DO BMS WEG

A comunicação do BMS também é baseada no protocolo da SAE J1939, contendo uma taxa de transmissão de comunicação CAN de 250 kbps. Seu funcionamento consiste no envio de sete mensagens que informam o estado atual da bateria, além de seus limites, erros e

alarmes. Essa grande quantidade de mensagens se dá por conta dos LMUs, que apresenta tensão e temperatura de diferentes locais. Os erros da bateria podem ser observados no anexo B.

O BMS da bateria deve receber apenas uma mensagem, que informa o seu estado de operação, podendo ser: Carga; Descarga; Reiniciar BMS ou Detecção de Isolamento. A bateria só pode entrar em um estado por vez. Além disso, quando estiver operando no modo Carga, mesmo com o acionamento do bit de descarga, o estado atual de Carga permanece, impedindo que ocorra uma descarga. Isso se deve à preferência dos bits, mantendo o sistema de segurança em eventuais tentativas de descarga durante seu carregamento (WEG, 2024).

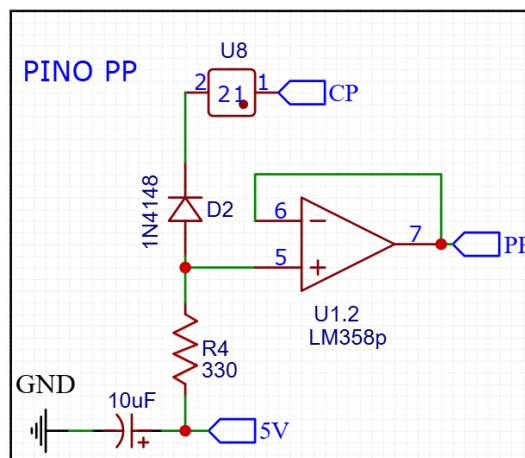
5.3 CIRCUITOS ELABORADOS NA ECU AUXILIAR

A ECU auxiliar consiste em um Arduino MEGA que administra pequenos circuitos com diferentes finalidades, como o controle do motor, leitura dos pinos PP e CP, interpretação das mensagens CAN, circuitos específicos do APM, além do circuito de leitura dos sensores de temperatura DC. O esquema completo pode ser observado no Anexo E.

5.3.1 Circuito Pino PP

Esse circuito consiste em obter a leitura de um divisor resistivo entre R_a e R_c , e pode ser observado na Figura 33. Sabendo que o aterramento da placa é feito pelo negativo da alimentação auxiliar, para evitar malhas de corrente entre o aterramento de proteção e a placa, é colocado um diodo de proteção entre R_a e R_c . O circuito apresenta um conector de entrada U8, que corresponde a um conector KF-128 (um borne duplo para placa de circuito impresso). A leitura é feita por meio de um buffer que envia o presente valor para o Arduino processar sua lógica.

Figura 33 – Circuito Pino PP

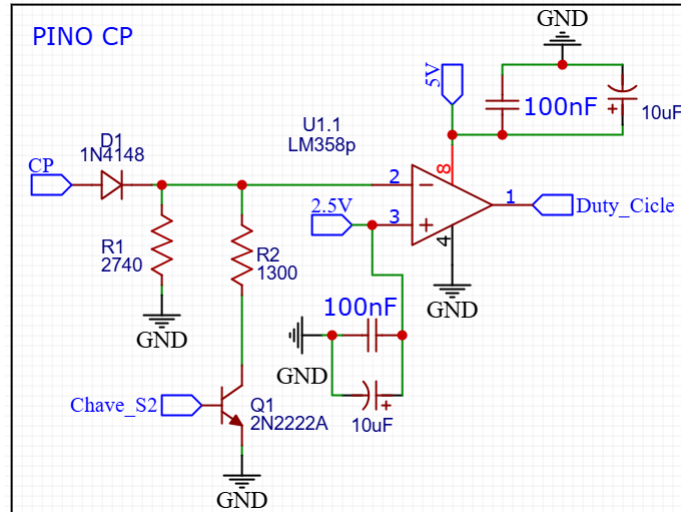


Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

5.3.2 Circuito Pino CP

O presente circuito demonstrado na Figura 34, é uma versão implementada do circuito da IEC-61851-1 voltada para o lado do veículo. A leitura é realizada por meio do comparador LM358p, cujo propósito é eliminar ruídos quando não houver nada conectado ao pino, além de ajustar o nível de tensão para a leitura do Arduino.

Figura 34 – Circuito Pino CP



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

Conforme a norma IEC 61851-1, ao conectar o plugue móvel ao veículo, é apresentada uma tensão de 9 V sobre o resistor R1, indicando que o plugue foi conectado. Nesse estado, a estação informa a razão cíclica da corrente máxima para o veículo, sendo feita a conferência dos pinos PP e CP. Caso esteja tudo de acordo, a chave S2 é fechada, a tensão é reduzida para 6 V devido ao paralelo de R1 com R2, iniciando o carregamento. A abertura da chave S2 indica a finalização ou interrupção da recarga, elevando a tensão novamente para 9 V e interrompendo o fluxo de potência da estação.

5.3.3 Circuito de Acionamento Motor de Intertravamento (Travamento do Plug)

Utilizando um L293D é possível implementar uma ponte H para inverter o sentido de rotação do motor. O circuito integrado (CI), apresenta duas entradas de alimentação, uma para os circuitos internos do CI (5 V), e outra para o acionamento do motor (12 V). Além disso, possui um funcionamento bem simples, onde as entradas, INPUT1 e INPUT2 funcionam com comandos entre as faixas de 4,5 V e 36 V, que são emitidos pelo Arduino. INPUT1 faz com que *Saida_motor+* seja positiva e *Saida_motor-* seja negativa, e INPUT2 inverte essa lógica, fazendo com que a rotação troque de sentido. Os dois comandos não podem ser acionados ao mesmo tempo, para evitar curto-circuito na ponte H interna do CI.

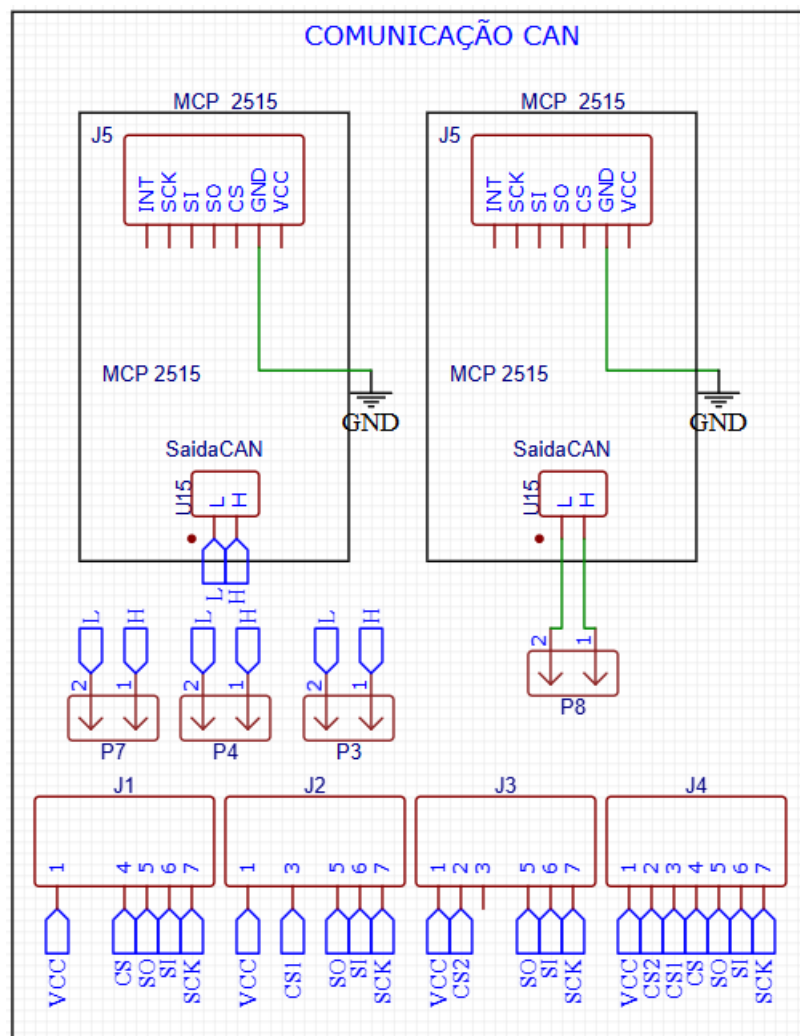
O motor de intertravamento apresenta uma chave que indica o estado do motor, aberto ou fechado. Para melhor leitura desse estado, é implementado 5 V em um de seus terminais e um

5.3.5 Módulo de interpretação CAN

O módulo MCP-2515 faz a conversão entre CAN e linguagem serial automaticamente, que se comunica com o Arduino, por meio dos pinos Miso (50), Mosi (51), SCK (52) e CS(53 ou 49). A utilização de dois módulos permite a criação de duas redes CAN, para a isolamento de comunicação entre certos equipamentos.

A placa contém um barramento serial integrada com uma saída sobrando, sendo apresentada na Figura 37 e representado pelo J3. Os barramentos de 7 pinos J1 e J2 são as entradas seriais dos dois módulos MCP-2515 e J4 é a entrada serial do Arduino na placa. Os únicos pinos do MCP-2515 que são ligados diretamente à placa são o GND, CAN *high* e CAN *low*, os demais utilizam o barramento serial na placa.

Figura 37 – Módulos MCP-2515



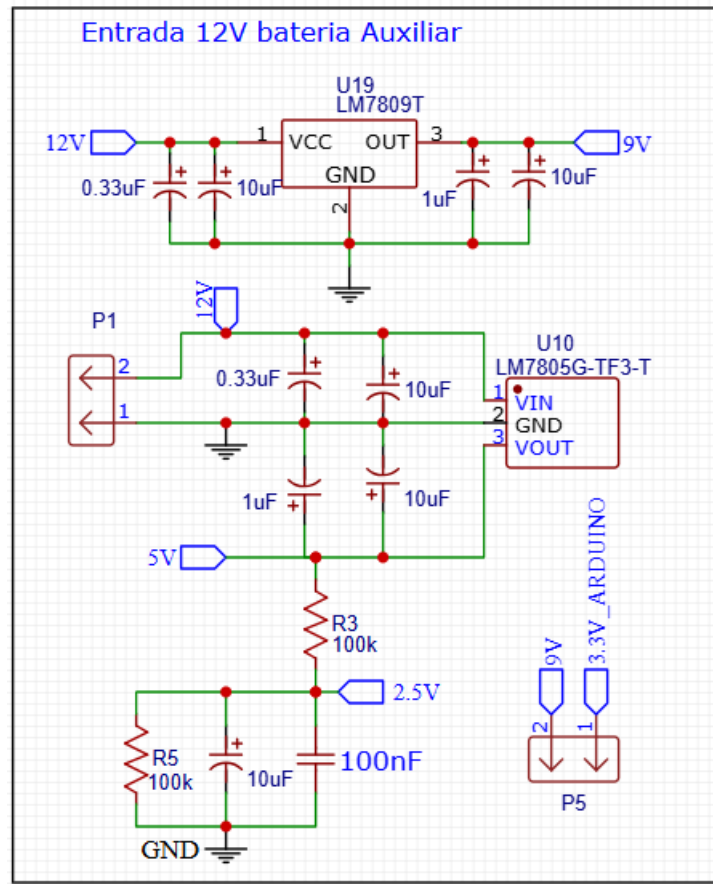
Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

O barramento CAN voltado para o OBC e APM apresenta 3 saídas, sendo uma reserva, e o barramento CAN da bateria apresenta apenas sua respectiva saída, de modo que as demais derivações são elaboradas via cabo.

5.3.6 Alimentação dos Circuitos

Como a tensão da bateria é de 12 V, adequação para alimentação dos CIs é realizada por meio dos reguladores de tensão, LM7809 e LM7805, que transformam a tensão em, respectivamente, 9 V e 5 V. O regulador de 9 V serve especificamente para a alimentação do Arduino, e o regulador de 5 V para os demais CIs.

Figura 38 – Circuito de Alimentação

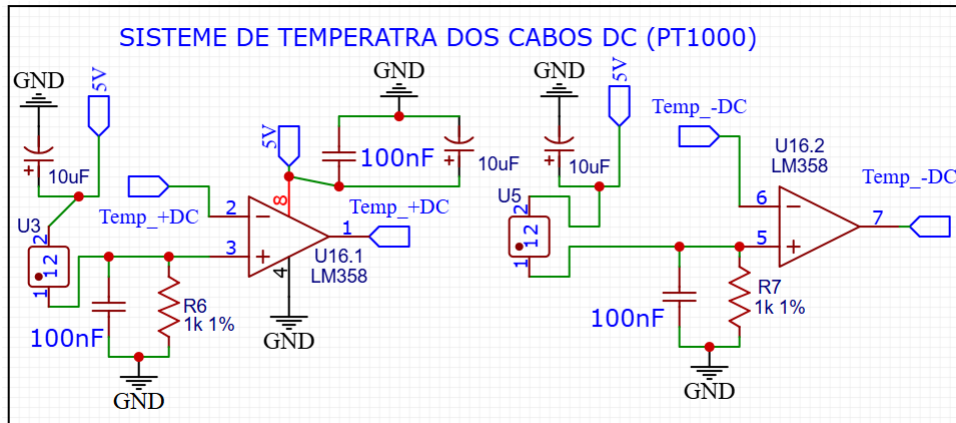


Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

5.3.7 Circuito de Medição de Temperatura DC

Consiste em um divisor resistivo entre o PT1000 e um resistor de precisão, dessa forma, conforme a variação de resistência, por meio do aumento ou diminuição da temperatura, é possível obter um nível de tensão diferente para cada temperatura. Os terminais U3 e U5 são os locais de inserção dos sensores PT1000.

Figura 39 – Circuito de Medição de Temperatura



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

5.4 FUNCIONAMENTO GERAL DA ECU AUXILIAR

A junção de todos esses circuitos nessa placa consiste em realizar uma "ponte" entre a estação de carga, o OBC e a bateria. O código de implementação desse sistema apresenta um controle principal utilizando uma variável chamada "Carga", que contém seis estados: Carga não iniciada, Carga em andamento, Carga interrompida, Carga completa, Alarme e Emergência.

Além disso, para uma melhor organização e gerenciamento do sistema, a programação é elaborada com a separação de funções que administram partes específicas do sistema. Os fluxogramas apresentados nas Figuras 40 e 41 expressam seu funcionamento para os estados da variável Carga. Vale ressaltar que algumas medidas são tomadas para atender aos critérios de exigência do projeto, como foi o caso das rampas de carga e descarga, além de impedir que o veículo se movimente com o plug conectado, por meio do envio de mensagens de **carga** ao BMS (fechando as contadoras).

5.4.1 Carga não iniciada

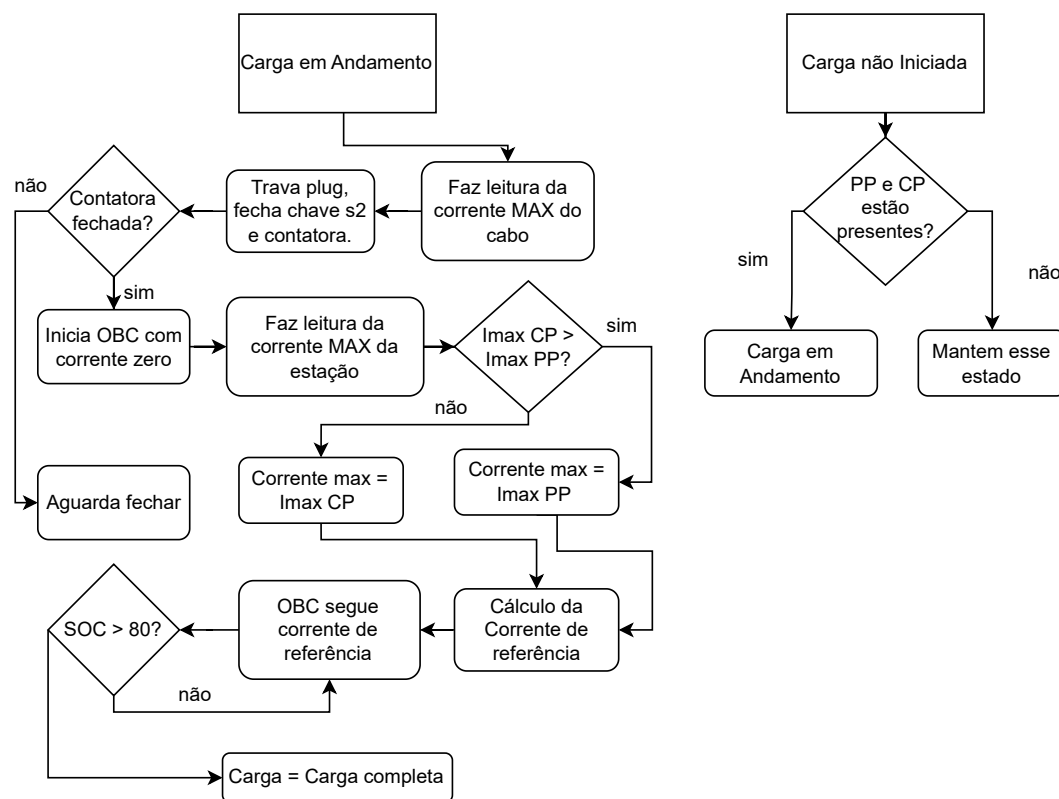
Nesse estado, o sistema basicamente fica esperando o usuário conectar o plug de carga para iniciar uma carga, por meio da mudança de estado da variável.

5.4.2 Carga em Andamento

Confirmada a presença do plug, o carregamento se inicia por meio da conferência da corrente máxima permitida pelo cabo (pino PP). O diagrama não mostra, mas, caso haja um erro nesse estágio de leitura, a chave S2 é impedida de abrir, conforme a norma IEC 61851 exige. Caso a leitura seja bem-sucedida, o sistema trava o plug, fecha a chave S2 e envia mensagem de carga para o BMS, fechando a contadora. Devido à pré-carga interna da bateria, a contadora demora para fechar, fazendo com que o sistema tenha que aguardar.

O OBC só é iniciado após as contadoras serem fechadas, para evitar o estado de erro "Detecção da Bateria". Dessa forma, após sua inicialização, é efetuada a leitura do razão cíclica enviada pela estação, a qual informa a corrente máxima que a estação pode fornecer. Em seguida, é feita uma comparação entre as correntes máximas permitidas pelo CP e PP, sendo considerada a menor como a máxima permitida durante o cálculo da corrente de referência. Essa corrente de referência pertence a uma função chamada "Curva de Carga", que é responsável por realizar a rampa de subida e descida da carga, além de restringir a carga em temperaturas elevadas da bateria e impor limites de carga pelo seu percentual (SOC).

Figura 40 – Fluxograma Carga em Andamento e Carga não Iniciada



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

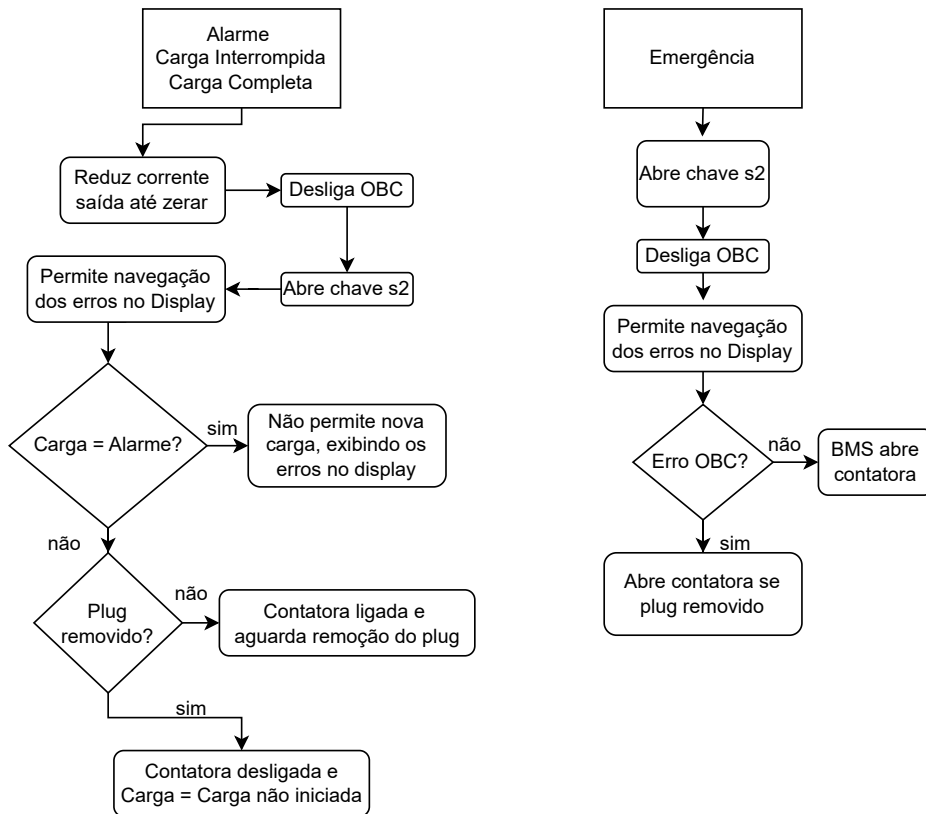
5.4.3 Alarme, Carga Interrompida ou Carga Completa

Esses sistemas possuem uma lógica muito parecida, entretanto seus "gatilhos" são diferentes, além de algumas respostas divergirem. Por exemplo: após a corrente zerada, se a carga for interrompida ou houver alarme, a mensagem para o OBC desligar é ID → 0x1806E5F4 → BYTE 4 → MENSAGEM → 1; se a carga for completa, a mensagem enviada é 2.

Além disso, caso seja o estado de alerta, o sistema não permite uma nova recarga sem o reset da placa, obrigando o usuário a recorrer a alguém qualificado para fazer uma verificação de

erros ou alarmes, para assim realizar a manutenção do sistema. OBS: Todos os alarmes presentes são da bateria.

Figura 41 – Emergência, Alarme, Carga Interrompida e Carga Completa



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

5.4.4 Emergência

Nesse estado, o sistema abre a chave S2 instantaneamente, envia mensagem de interrupção ao OBC e apresenta os devidos erros no LCD. Caso o erro tenha sido no OBC, a contatora se mantém acionada, evitando colamento dos contatos de potência e mantendo uma vida útil mais duradoura. Entretanto, se a bateria informar o erro, o próprio BMS atua instantaneamente nos contatos de potência para sua proteção.

5.4.5 Corrente de Referência

É a corrente calculada a partir das tensões de entrada e saída do OBC, cuja corrente de saída do OBC segue. Durante a inicialização do OBC a corrente de referência apresenta uma curva gradual de crescimento, de zero até a corrente máxima de saída estimada, com uma taxa de crescimento de 1A/s. No processo de encerramento de carga sem ser por emergência, a corrente

de referência apresenta uma descarga suave com uma taxa de decrescimento de 3A/s. Caso o modo de emergência seja acionado, a corrente de referência adota o valor zero de forma imediata.

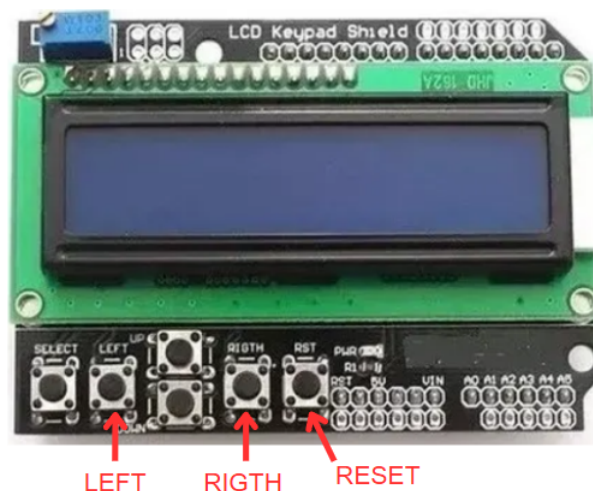
Além da curva gradual de subida e descida, caso a bateria atinja 35°C ou 8°C, a corrente de referência é reduzida pela metade. Se a bateria aumentar a temperatura após os 35°C, ou diminuir após os 8°C, a corrente de referência se torna zero quando as temperaturas atingirem 38°C ou 5°C.

5.4.6 Exibição de Erros

Os erros são apresentados em um módulo LCD com teclado para Arduino, que é utilizado como interface homem-máquina (IHM), sendo apresentado na Figura 42. Esse módulo apresenta 5 botões programáveis, dos quais apenas dois são usados: RIGHT e LEFT.

A interface de exibição dos erros é apresentada de forma bem simples, onde, quando nenhum erro é relatado ao Arduino, o display LCD apresenta "Erro:0" e "Sem Erros", como demonstrado na Figura 43. Quando algum erro ou uma série de erros ocorre, a quantidade de erros gravados é mencionada e a mensagem "Press RIGHT" é exibida, apresentada na subfigura 43 (b), indicando que, para acessar os demais erros, deve-se pressionar o botão RIGHT.

Figura 42 – Módulo LCD



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

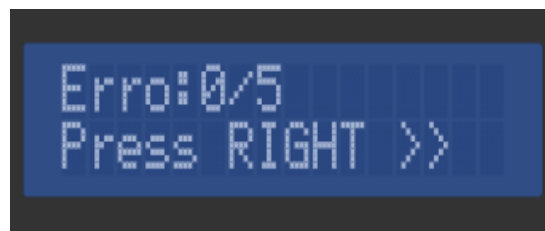
Todos os erros possuem um código, os quais são apresentados na Tabela 28. Durante a navegação, estes erros são exibidos como "Cod:XXX", onde XXX é o código do erro. As Figuras 43 (c) e 43 (d) são exemplos de navegação no sistema, que apresentou apenas 5 erros. OBS: a galeria de erros do sistema consegue armazenar apenas os últimos 20 erros, sendo suficiente para os 51 listados.

Figura 43 – Visões do Sistema de Exibição de Erros no Display LCD

(43 (a)) Estado sem erros



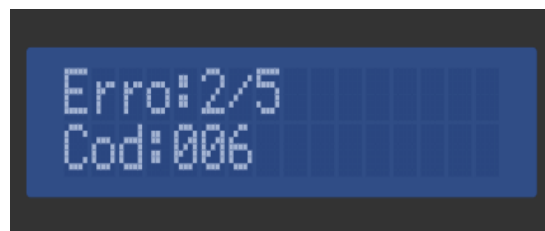
(43 (b)) Detecção de erros



(43 (c)) Exemplo prático 1



(43 (d)) Exemplo prático 2



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Tabela 28 – Códigos de Erro do Sistema

Erros do OBC	Erros do BMS	Avisos do BMS
001 - Falha de Hardware OBC	006 - Sobretensão em Célula	033 - Tensão Alta em Célula
002 - Temperatura do OBC	007 - Subtensão em Célula	034 - Tensão Baixa em Célula
003 - Falha na Entrada do OBC	008 - Fim de Vida da Célula	035 - Temperatura Alta em Célula
004 - Tensão Reversa na Bateria	009 - Leitura Incorreta da Célula	036 - Temperatura Baixa em Célula
005 - Falha de Comunicação OBC	010 - Célula em Sobretemperatura	037 - Temperatura Alta na LMU
-	011 - Célula em Subtemperatura	038 - Temperatura Baixa na LMU
-	012 - Célula Não Gerenciada	039 - Comunicação com Submódulo Falhou
-	013 - LMU em Sobretemperatura	040 - Interferência na Comunicação LMU
-	014 - LMU em Subtemperatura	041 - Corrente Alta de Entrada
-	015 - Sensor de Temperatura Aberto	042 - Corrente Alta de Saída
-	016 - Sensor de Temperatura em Curto	043 - Diferença de Resistência no Pack
-	017 - Comunicação com Submódulo	044 - Resistência Alta no Pack
-	018 - Comunicação com LMU	045 - Diferença de Resistência entre Células
-	019 - Sobrecorrente de Entrada	046 - Resistência Alta em Célula
-	020 - Sobrecorrente de Saída	047 - Tensão Alta na BMCU
-	021 - Curto-Circuito	048 - Tensão Baixa na BMCU
-	022 - Vazamento Detectado	049 - Estado de Carga (SOC) Baixo
-	023 - Vazamento - Detecção Encerrada	050 - Balanceamento Necessário
-	024 - Diferença de Tensão	051 - Carregador Não Responde
-	025 - Sobretensão na BMCU	-
-	026 - Subtensão na BMCU	-
-	027 - Contator Positivo Principal	-
-	028 - Contator Negativo Principal	-
-	029 - Contator de Pré-carga	-
-	030 - Contator de Meio Pack	-
-	031 - Tempo Excedido na Pré-carga	-
-	032 - Substituição por Emergência	-

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

5.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi realizada uma apresentação detalhada do funcionamento dos principais componentes que constituem o sistema de recarga lenta implementado na van do projeto ELETRIFICA. O objetivo central foi explicar a funcionalidade de cada elemento, sua interação e contribuição para a condução do processo de carregamento, seguro e em conformidade com as normas vigentes.

O sistema de comunicação do OBC quanto o BMS são padronizados pela SAE J1939, sendo resumidamente explicados, apresentando seus erros e limites, influenciando em como a ECU Auxiliar deve interagir para controlar o carregamento.

A ECU Auxiliar foi apresentada como o componente central de gerenciamento, atuando como uma "ponte" fundamental entre a estação de carga, o OBC e o BMS. Seus circuitos internos foram detalhados, onde apresentam os responsáveis pela leitura precisa dos pinos de controle (CP) e proximidade (PP), cruciais para a aderência à norma IEC 61851-1, bem como os circuitos para o acionamento do motor de intertravamento, a interface com o Módulo de Potência Auxiliar (APM), os módulos de interpretação CAN e os de medição de temperatura.

Por fim, o funcionamento lógico presente no código é explicado por meio de diagramas de blocos sendo organizado em estados como 'Carga não iniciada', 'Carga em andamento', 'Alarme' e 'Emergência'. O capítulo também abordou a exibição e interpretação dos códigos de erro no display LCD, que é essencial para a manutenção e a segurança da bateria, e do veículo.

O código desenvolvido pode ser acessado via link: ***Acessar código no OneDrive***

O projeto de placa ECU desenvolvida pode ser acessada via link: ***Projeto da Placa desenvolvida***, além disso ela pode ser observada no anexo G.

6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Esse capítulo apresenta os testes realizados em laboratório, além de validar os resultados obtidos, levando a uma conclusão sobre a utilização do sistema de carga lenta implementado.

6.1 TESTE DE LEITURA DO PINO CP

Para a validação desse teste, foi necessária a replicação do circuito (fonte - veículo), sendo demonstrada na Figura 5 do Capítulo 2. Seu funcionamento consiste em um gerador de PWM (amplitude de 12 V) com uma resistência em série que, quando conectado ao veículo, obtém uma queda de tensão (9 V) e, quando o veículo decide iniciar a carga com o fechamento da chave S2, o circuito obtém outra queda de tensão (6 V). OBS: o veículo só pode fechar a chave S2 após a conferência em conjunto dos pinos PP e CP.

O teste foi realizado utilizando um gerador de onda da Tektronix, Arduino UNO, entre outros componentes.

6.2 TESTE DE LEITURA DO PINO PP

Com o intuito de deixar apenas um ponto de aterramento na placa, para evitar malhas de corrente durante as proteções do aterramento, foi utilizado um diodo de impedimento de corrente reversa entre as resistências Rc e Ra da leitura do pino PP, levando a pequenas imprecisões na leitura, sendo melhor observadas no Tabela 29.

Tabela 29 – Análise das Leituras de Tensões do Pino PP

Tensão (V)		Resistência (Ω)		Corrente Permitida (A)
Calculada	Medida	Rc	Usada	-
3,53	3,60	2460	2453	13
3,16	3,26	1500	1480	13
2,87	2,98	1100	1110	13
2,71	2,81	936	933	20
2,38	2,45	680	678	20
1,81	1,84	400	391	20
1,54	1,57	308	307	32
1,22	1,25	220	219	32
0,98	0,99	164	162	32
0,87	0,87	140	136	70
0,66	0,66	100	98,3	70
0,54	0,56	80	81,2	70

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Nota-se a não linearidade do circuito devido ao diodo, o que faz com que este não corresponda corretamente aos valores calculados. Vale ressaltar que os valores medidos apresentam uma variação de +0,3 V; no caso, todas as medidas coletadas correspondem aos valores mínimos

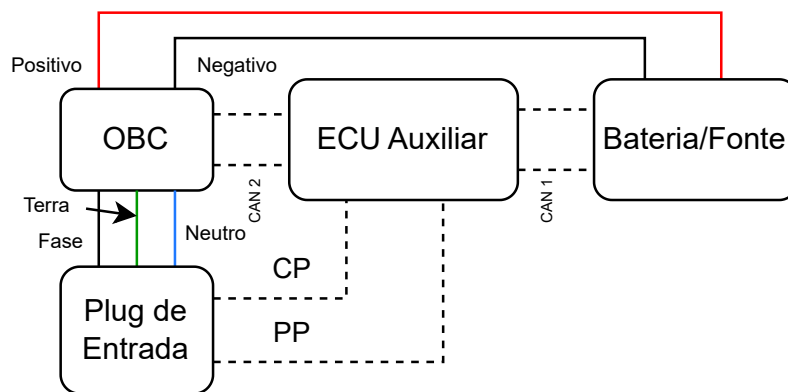
apresentados na leitura prática. Dessa forma, a utilização dessas informações coletadas se deu no uso do código, limitando a corrente de entrada conforme as tensões presentes.

6.3 TESTES REFERENTES AO OBC

Durante o processo de aprendizado sobre o funcionamento do OBC e a assimilação dos protocolos de comunicação CAN, foram realizados testes preliminares de comunicação e potência para verificar seu funcionamento básico. Confirmado seu funcionamento, os testes se voltaram para a utilização da ECU auxiliar no processo de gerenciamento de carga com o OBC.

O esquema dos testes realizados no OBC é apresentado na Figura 44. Apesar de as comunicações estarem sempre ligadas à ECU auxiliar, em alguns testes de funcionamento, como citado acima, foi utilizado apenas o sistema de comunicação da placa para o OBC (CAN 2) ou da placa para o BMS (CAN 1), garantindo o funcionamento individual dos equipamentos.

Figura 44 – Esquema de ligação OBC



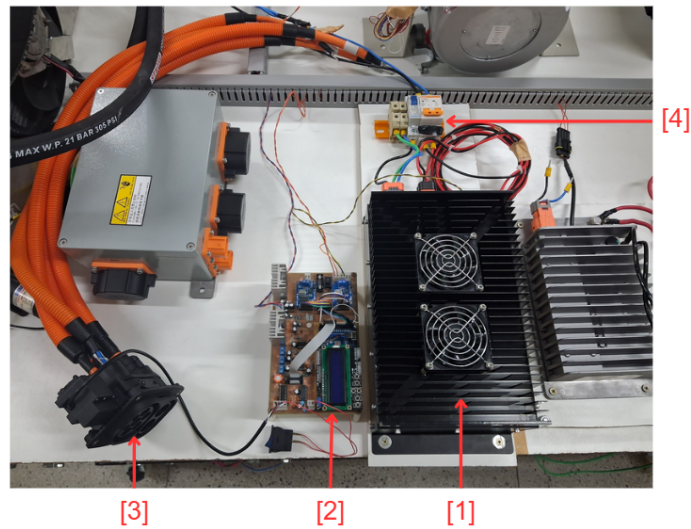
Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

A montagem prática do sistema de carga é apresentada na Figura 45, que está na bancada do projeto geral do ELETRIFICA, onde os componentes da recarga são apenas o OBC [1], a ECU auxiliar [2], o plugue de fixação [3] e a conexão dos terminais da bateria [4]. Além disso, todos os testes que utilizam esse esquema de ligação foram implementados com a estação de recarga lenta WEMOB PARKING, presente no laboratório nMOB, podendo ser observada no anexo F.

6.3.1 Testes com Injeção de Energia na Rede

Esse teste consiste em obter resultados que comprovem o funcionamento adequado das leituras feitas pelos pinos PP e CP durante o processo de carga, junto à comprovação da qualidade de energia entregue pelo produto, conforme descrito no manual. Além disso, este ensaio também serviu para a validação dos cálculos da referência de corrente, garantindo um início e fim de carregamento suaves, a fim de evitar mudanças radicais sem necessidade.

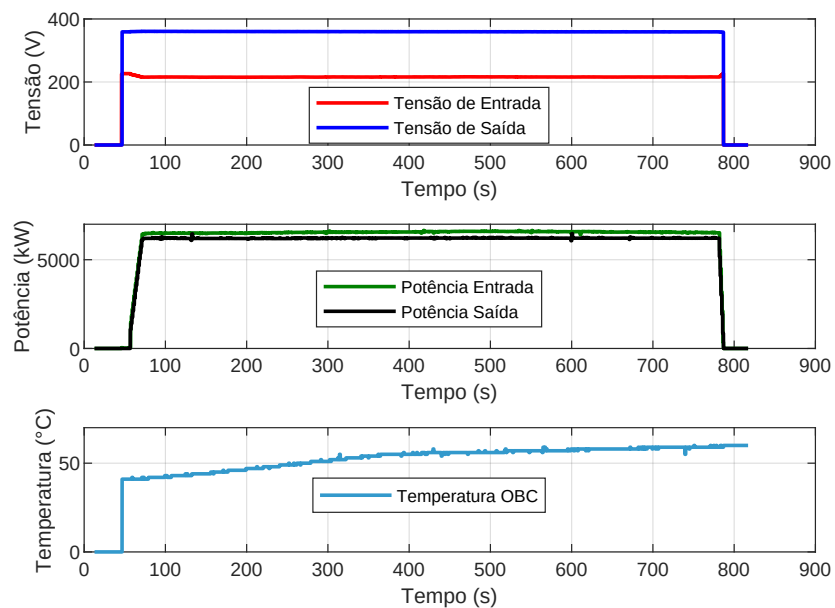
Figura 45 – Ligação OBC prática



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

O teste foi elaborado conforme o esquema de ligação da Figura 44, porém a comunicação do barramento CAN 1 da ECU auxiliar permanece conectada à bateria, sendo que a parte de potência está na fonte. De forma geral, é um teste de gerenciamento de carga da ECU auxiliar na fonte, com as informações do BMS da bateria, garantindo que o OBC só funcione após o fechamento das contatoras. **Todos** os dados dos demais gráficos que são apresentados foram obtidos por meio da **comunicação CAN**.

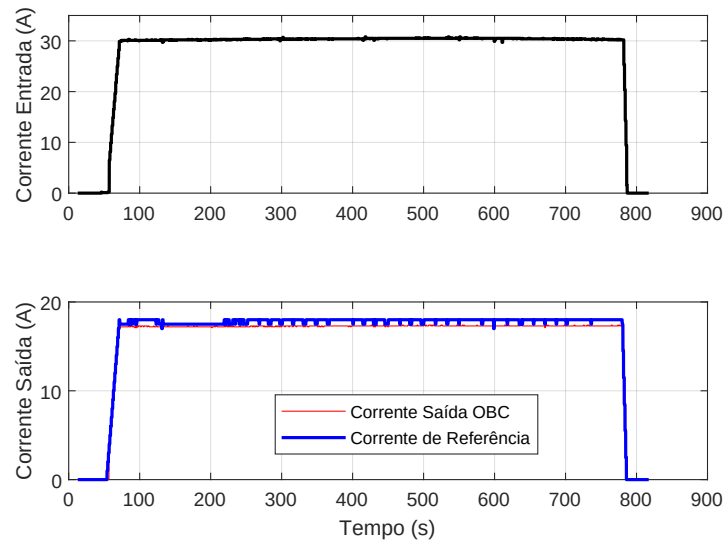
Figura 46 – Tensões, Potências e Temperatura



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

A Figura 46 ilustra as tensões e potências de entrada e saída, junto ao gráfico de temperatura do OBC, demonstrando seu aquecimento conforme a utilização. As tensões representadas nessa figura possuem um valor médio de 220 V e 360 V, sendo, respectivamente, a tensão de entrada e de saída. A potência de entrada e saída contém as respectivas médias de 6,59 kW e 6,2 kW, comprovando o rendimento de 94% do conversor.

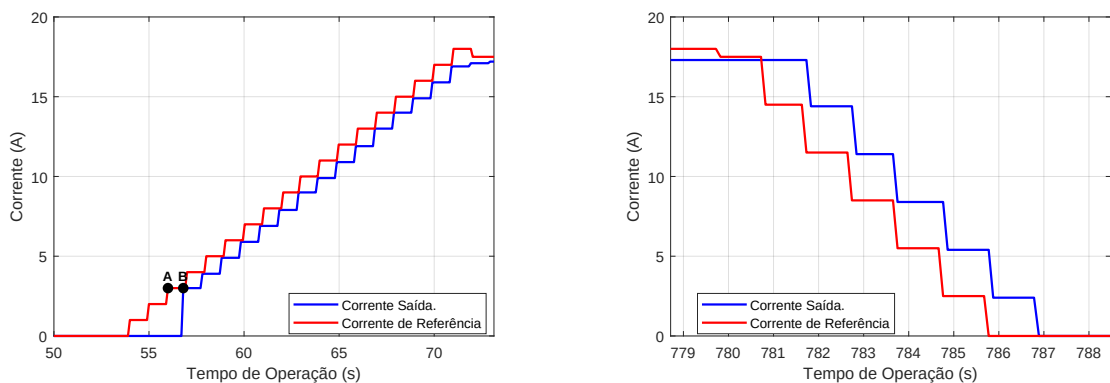
Figura 47 – Correntes de Entrada, Saída e Referência



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

Na Figura 47 são exibidas as correntes de entrada e saída do conversor, onde a corrente de saída é plotada junto da corrente de referência. As correntes apresentam um comportamento regular, não demonstrando inconsistências, sendo que seus valores médios são de 30 A na entrada, 17,5 A na referência e 17 A na saída.

Figura 48 – Resultados Parciais – Tensões e Correntes da Fonte 360V



(48 (a)) Rampa de Carga

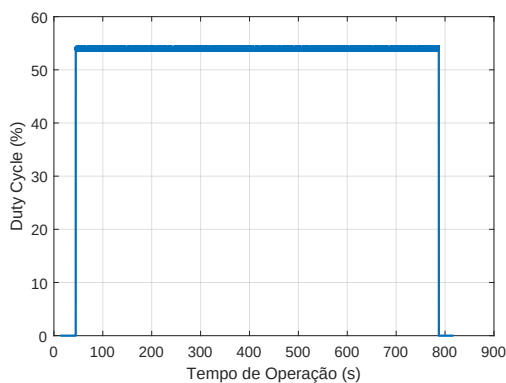
(48 (b)) Rampa de Descarga

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

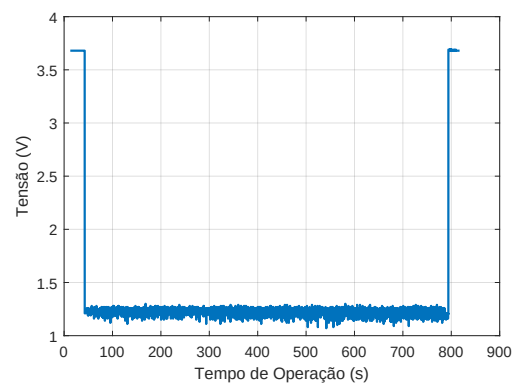
As Figuras 48 (a) e 48 (b) mostram as respectivas rampas de carga e descarga, sendo possível notar um atraso de resposta relevante em relação à corrente de referência, pelos pontos A e B, de 0,806 s.

As leituras dos pinos CP e PP são apresentadas, respectivamente, nas Figuras 49 (a) e 49 (b), onde suas validações podem ser realizadas por meio da Tabela 2 e da Tabela 29, sendo que o razão cíclica apresenta um valor médio de 54% (32,4 A), e a tensão no pino PP contém um valor respectivo máximo e mínimo de 1,3 V e 1,1 V, sempre no estado de 32 A.

Figura 49 – Resultados Complementares – Leituras dos Pinos CP e PP



(49 (a)) Leitura do Pino CP

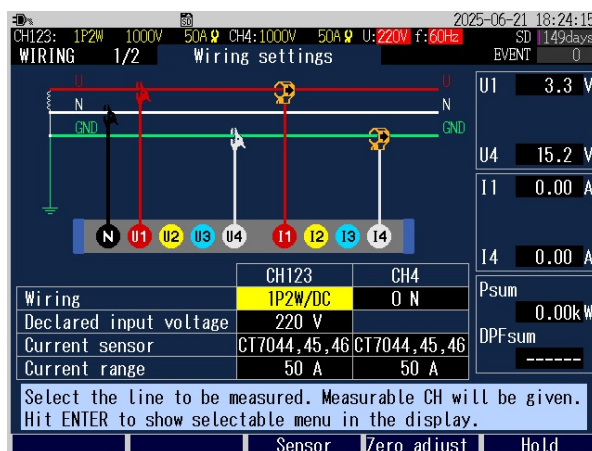


(49 (b)) Leitura do Pino PP

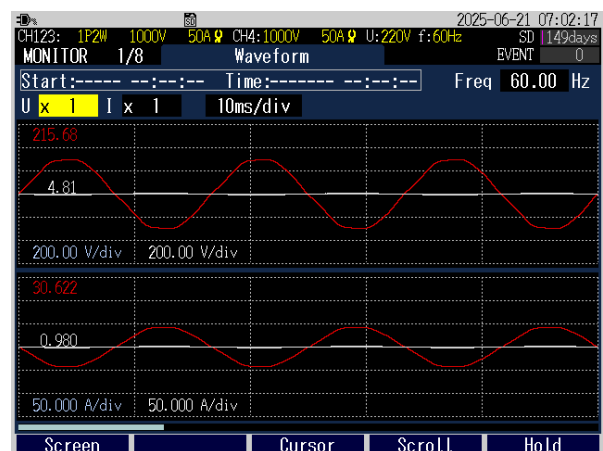
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

O esquema de ligação elaborado para medição dos resultados da entrada de energia é apresentado na Figura 50 (a). Essas medições foram realizadas com o analisador de qualidade de potência modelo PQ3100, o qual pode ser observado no anexo C.

Figura 50 – Resultados de Entrada Teste Fonte



(50 (a)) Esquema de Medição



(50 (b)) Tensão e Corrente Defasada em 180°

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Com esse analisador, é possível obter as formas de onda de tensão e corrente, presentes na Figura 50 (b), além de seus valores RMS, picos, THD e Fator de Crista (CF)¹, sendo apresentados nas Figuras 51 (a) e 51 (b).

Figura 51 – Leitura de Injeção de Harmônicos na rede



(51 (a)) Parâmetros de Tensão



(51 (b)) Parâmetros de Corrente

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Além disso, as medições da saída se deram por meio dos valores eficazes apresentados na fonte modelo RP7972A da Keysight. A fonte pode ser melhor observada no anexo D. Nesse caso, a fonte bidirecional foi setada na tensão de 360 V.

Figura 52 – Valores da Saída



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

Em resumo, esse teste comprova os impactos previstos pelo equipamento na rede, com harmônicas inferiores a 5% e fator de potência de 0,99, como menciona o manual. Além disso, esse teste valida o processo de carga e descarga do sistema, evitando estresse dos equipamentos, junto ao funcionamento da leitura dos pinos PP e CP. O resumo dos resultados da análise de entrada é apresentado na Figura 53.

¹ Do inglês Crest Factor

Figura 53 – Resumo Geral do Teste



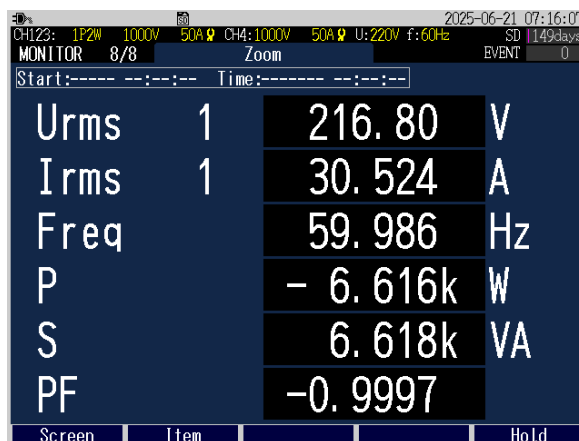
Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

6.3.2 Testes com Injeção de Energia na Rede com Saída do OBC em 400 V e 340 V

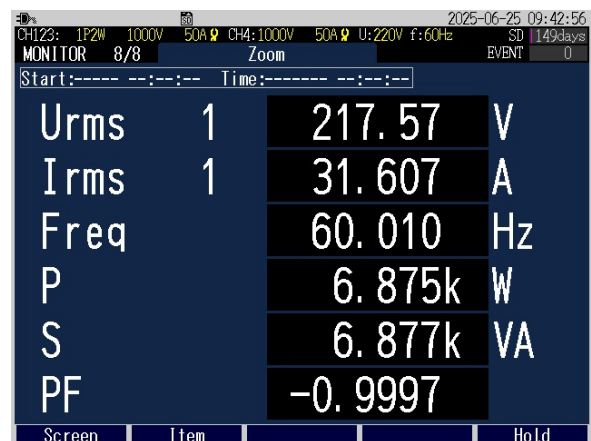
Como mencionado no capítulo 3, o presente modelo de OBC consegue operar de 250 V a 450 V, e o objetivo deste teste é observar o comportamento do OBC nos limites de operação da bateria, 336 V e 408 V, analisando as tensões, correntes e potências mediante ao OBC. Considerando que esses valores não seriam usados por motivos de segurança da bateria, os valores de testes adotados foram de 340 V e 400 V.

Obtendo as medições de entrada por meio do analisador de energia Hioki, observa-se que na Figura 54 (b), sua potência de entrada é maior que as anteriores, influenciando no seu rendimento. As medições das entradas podem ser observadas nas Figuras 54 (a) e 54 (b).

Figura 54 – Medições de Entrada



(54 (a)) Saída de 400 V

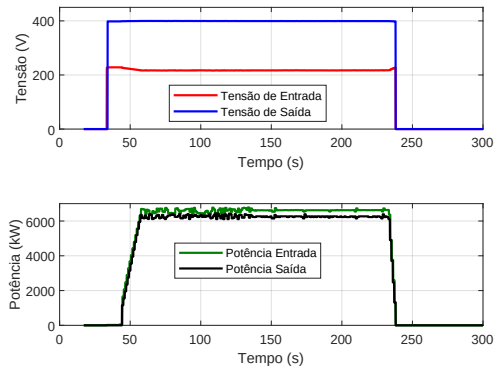


(54 (b)) Saída de 340 V

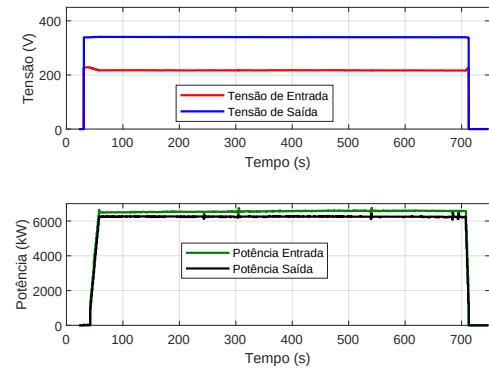
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

A Figura 55 (a) apresenta uma instabilidade inicial no gráfico de potências, mas essa instabilidade não se deve ao controle externo (ECU auxiliar), pois a corrente de referência, plotada na Figura 56 (a), é estável. Sabendo que os valores da corrente de referência são enviados diretamente ao bit correspondente à corrente de saída do OBC, o problema se deve ao controle interno do produto.

Figura 55 – Tensões e Potências



(55 (a)) Saída de 400V

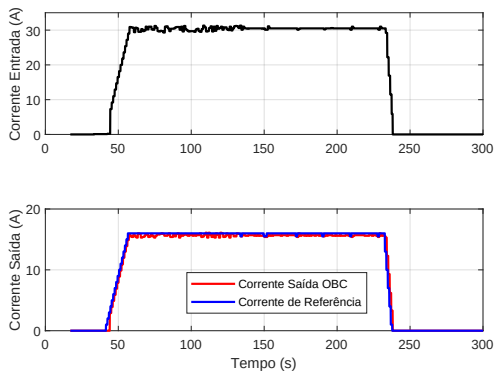


(55 (b)) Saída de 340V

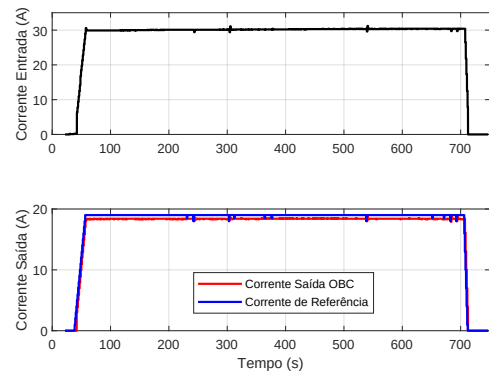
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Entretanto, as Figuras 56 (a) e 56 (b) demonstram que, para manter a potência de saída como tal (6,3 kW), as correntes adotam novos valores limitantes, onde para 400 V é em torno de 15,8 A e para 340 V é por volta de 18,5 A. As Figuras 57 (a) e 57 (b) apresentam os valores de corrente obtidos na prática do experimento.

Figura 56 – Correntes de Entrada e Saída



(56 (a)) Corrente de entrada e saída para tensão de 400 V



(56 (b)) Corrente de entrada e saída para tensão de 340 V

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Figura 57 – Resultados Teste Fonte



(57 (a)) Valores de Tensão e Corrente DC 400 V



(57 (b)) Valores de Tensão e Corrente DC 340 V

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Com esses resultados, pode-se concluir que, ao decorrer da variação de tensão da bateria, o OBC varia seu rendimento, onde, para uma tensão de 340 V, seu rendimento foi de 93%, e a tensão de 400 V apresentou um rendimento de 95%. Vale ressaltar que esses valores foram obtidos por meio da comunicação CAN, utilizando o medidor interno do OBC, e NÃO por meio de dois analisadores de energia (um na entrada e outro na saída), o que pode levar a imprecisões de medição. Dessa forma, a análise é considerada válida mesmo sabendo que o OBC possui uma eficiência máxima de 94%.

6.3.3 Teste na Bateria

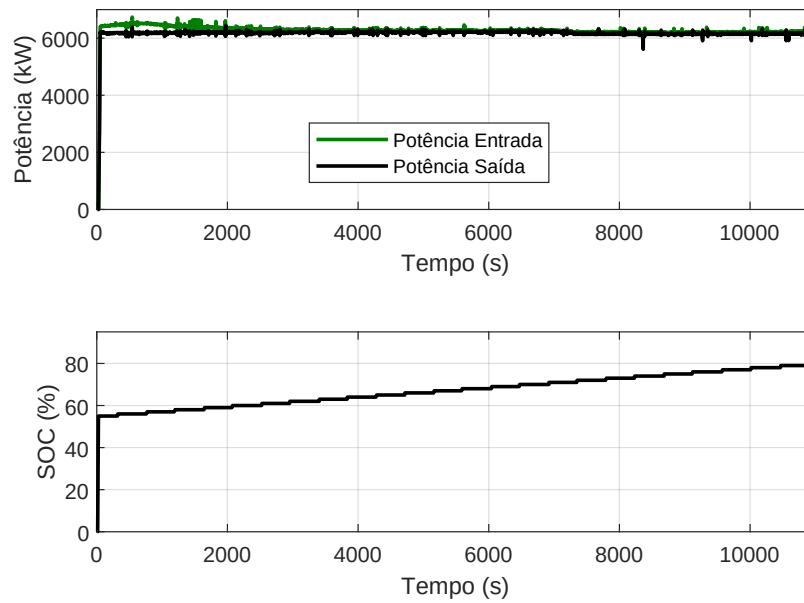
Consistindo no principal objetivo desse trabalho, esse teste visa à análise e acompanhamento de uma recarga, por meio de dados obtidos do sistema de comunicação CAN, onde esses resultados são apresentados para validação ou não do gerenciador de recarga.

Mesmo com as limitações de carga impostas pelos alarmes da bateria, o sistema de gerenciamento impõe algumas restrições de carga para temperaturas da bateria maiores que 35 °C e menores que 8 °C, reduzindo a potência fornecida pelo OBC pela metade. Além disso, caso o OBC já esteja operando nesse cenário, este pode vir a encerrar a operação se as temperaturas forem maiores que 38 °C ou menores que 5 °C, evitando superaquecimento e danos à bateria. O BMS possui suas proteções contra altas ou baixas temperaturas, mas esse sistema é apenas uma garantia a mais, levando a maior segurança da bateria na hora da recarga.

O início do carregamento se deu com estado de carga em 55% levando três horas para chegar a um SOC de 80%. A Figura 58 mostra a potência e o SOC em função do tempo.

A potência de entrada se apresenta maior durante um período inicial, chegando a 6,8 kW e reduzindo ao longo do carregamento até atingir a nominal.

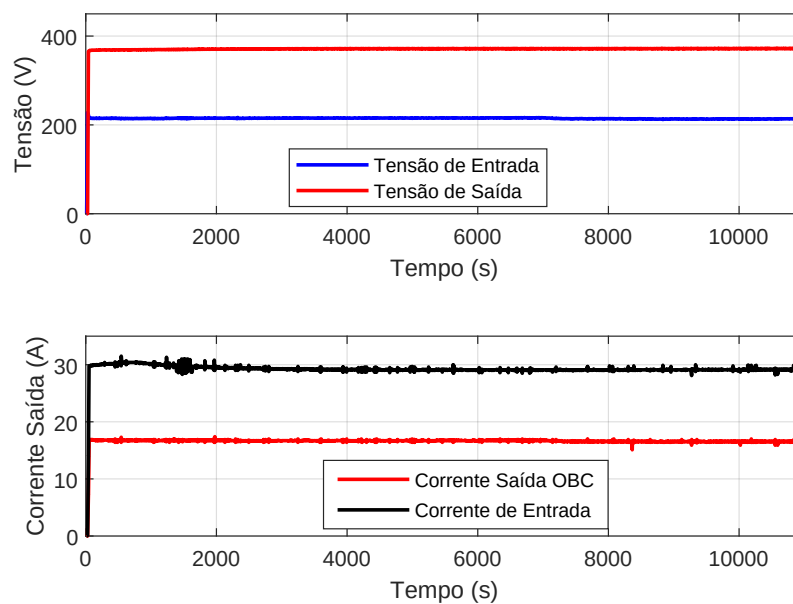
Figura 58 – Potência de Carga e SOC



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

O gráfico de tensão e corrente em função do tempo pode ser observado na figura 59.

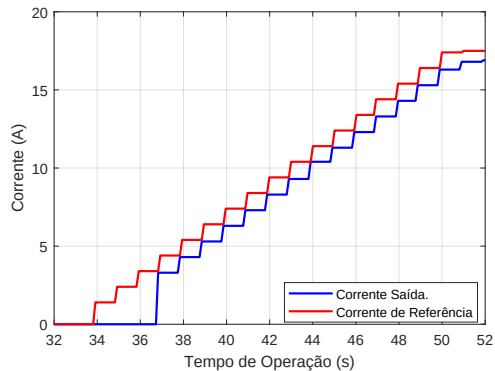
Figura 59 – Corrente e Tensão



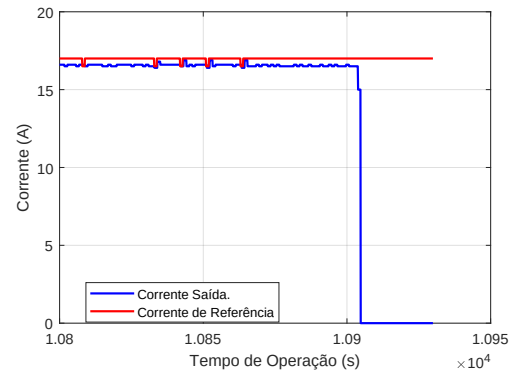
Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

A rampa de início gradual de carga pode ser observada na Figura 60 (a), mantendo seu crescimento em 1 V/s. A Figura 48 (b) mostra que não houve uma redução de carga gradual ao fim do carregamento. Quanto a isso, o presente acontecimento ocorreu devido a um erro na lógica do código, que enviou a mensagem de encerramento de carga para o OBC sem realizar o decrescimento de corrente.

Figura 60 – Rampas de Corrente na Recarga da Bateria



(60 (a)) Rampa de Início Gradual da Bateria



(60 (b)) Fim de Carga da Bateria

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

A tensão e a corrente permanecem constantes praticamente a carga inteira, onde a tensão obteve uma variação de 2 V, apresentando uma tensão final de 372 V e a corrente possui uma variação de miliamperes, onde manteve uma média de 16,7 A. As Figuras 61 (a) e 61 (b) apresentam valores de medição durante a carga.

Figura 61 – Tensão e Corrente Durante a Carga da Bateria



(61 (a)) Leitura de Tensão com Multímetro Digital

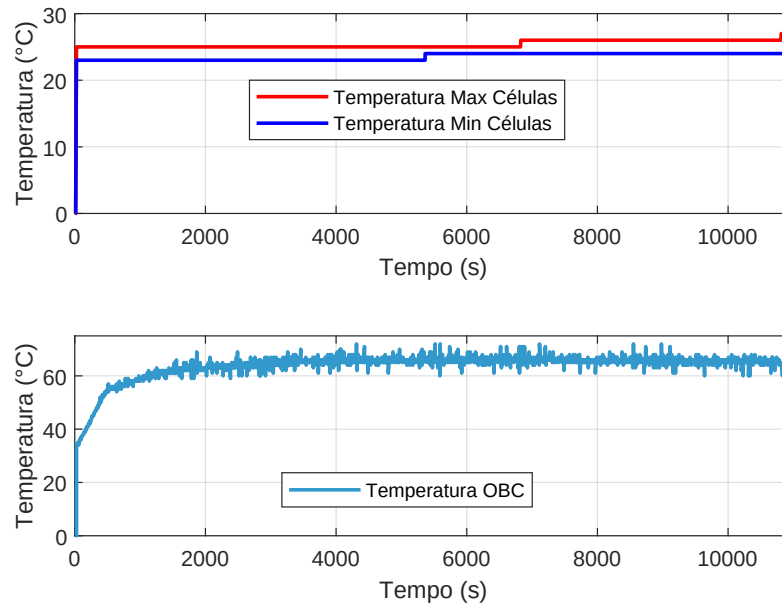


(61 (b)) Leitura de Corrente com Alicate Amperímetro

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

As temperaturas máximas e mínimas das células da bateria podem ser observadas na Figura 62, junto à temperatura do OBC, ambas em função do tempo.

Figura 62 – Temperatura da Bateria e do OBC



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2025)

Como a bateria já estava inicialmente fria, não havendo estresse de temperatura nem descargas de alta corrente anteriormente, a temperatura máxima das células chegou a 27 °C e a mínima a 25 °C, fazendo com que o sistema de redução de carga não atuasse. Além disso, o OBC atua conforme o esperado apresentando uma temperatura média de 66°C durante a recarga.

Dessa forma, por meio desse teste é possível observar que a carga realizada na bateria pelo OBC, apesar de não seguir corretamente o desfecho planejado devido a erros de programação no gerenciador, segue em um ritmo estável de carregamento, carregando 25% em cerca de 3 horas mantendo uma estimativa de carga completa em 12 horas.

6.4 CONCLUSÃO DE CAPÍTULO

Nesse capítulo foram abordados os principais testes implementados, assim como uma descrição detalhada sobre a objetividade dos testes e seus resultados.

Os testes do pino CP se resumiram na leitura de razão cíclica em harmonia com o circuito estabelecido pela IEC 61851-1. Já o teste do pino PP, se passa por uma série de medições, listadas na Tabela 29, com o objetivo de validar o funcionamento em diferentes resistências de R_c .

Sendo assim, os testes relacionados à injeção de energia na rede apresentam resultados que comprovam o funcionamento de leituras dos pinos PP e CP, funcionamento das rampas de

crescimento e decrescimento da carga, e, por meio da utilização de um analisador de energia, validam a limitação de poluição harmônica da rede em 5%.

Ademais, o teste de recarga na bateria consistia em obter os mesmos resultados apresentados no teste da fonte, porém, devido a um erro de lógica no código, o OBC interrompeu a carga imediatamente, sem realizar a curva de decrescimento. Entretanto, esse erro apenas invalidou a rampa de descida, mantendo todos os outros fatores válidos. Vale ressaltar que por limitação de tempo não foi realizado outro teste para validação da rampa de descarga na bateria.

Apesar dos desafios encontrados durante a realização desses testes, foi possível obter resultados satisfatórios em relação aos testes individuais e em conjunto, levando a uma conclusão de que o equipamento está apto para a realização do carregamento da bateria, mas ainda necessita de algumas correções.

7 CONCLUSÃO DE TRABALHO

O presente trabalho apresentou a estrutura geral de um veículo elétrico, com a finalidade de incorporar um sistema de recarga lenta na van do projeto ELETRIFICA, cuja bancada de eletrificação está presente no laboratório nMOB. O sistema foi projetado de forma a atender às normas locais, sendo implementado por meio de uma ECU auxiliar desenvolvida ao longo do projeto, no qual fará o gerenciamento desse carregamento.

A fundamentação teórica apresentada no Capítulo 2 possibilitou a compreensão dos principais componentes de recarga presentes nos veículos elétricos, tendo como maior foco o OBC, sendo apresentadas diversas topologias. As principais normas empregadas no sistema de carregamento de veículos e os sistemas de comunicação CAN, também foram abordadas nesse capítulo, sendo de grande importância para a compreensão do projeto.

Os componentes do sistema de recarga do projeto ELETRIFICA foram apresentados no Capítulo 3, que realizou uma descrição mais detalhada sobre cada componente e sua importância no projeto. O OBC não foi abordado nesse capítulo, pois a análise de escolha para esse componente ocorreu no Capítulo 4.

Para melhor atendimento do projeto, no Capítulo 4 foi abordada uma análise de opções e escolha do OBC, onde se realizam diversas comparações entre modelos diferentes. As comparações se limitaram às marcas confiáveis e modelos disponíveis no mercado brasileiro, avaliando o custo-benefício, características de potência empregada, normas, entre outras.

O funcionamento dos principais componentes foi apresentado no Capítulo 5, dando uma ênfase na ECU auxiliar que fará o processo de gerenciamento desse sistema de recarga, apresentando a lógica por meio de diagramas e explicações. Nessa parte também foi apresentada a leitura e o gerenciamento dos erros por parte da ECU, que exibirá em um display LCD a quantidade de erros informados e o código deles.

Os resultados experimentais foram apresentados no Capítulo 6, por meio de diferentes testes com o objetivo de validar partes separadas do projeto, apresentando circuitos e esquemas elétricos para melhor entendimento, junto aos resultados obtidos por meio de tabelas, gráficos e fotos experimentais.

Com base nos estudos teóricos e experimentais desenvolvidos neste trabalho, a maioria dos objetivos gerais e específicos definidos no capítulo inicial foi atingida. Entretanto, a implementação da comunicação entre a VCU e a placa de gerenciamento não foi cumprida, o que pode causar interferências de comunicação com a bateria ou até mesmo o funcionamento do sistema powertrain durante a carga. Esse sistema ficará como pendência, cuja sua resolução será prestada pelos membros da equipe do projeto ELETRIFICA.

REFERÊNCIAS

- ABVE. **Eletrificados seguem crescendo e se consolidam na faixa de 8% de participação de mercado.** 2025. Acesso em: 8 jul. 2025. Disponível em: <<https://abve.org.br/eletrificados-seguem-crescendo-no-semester-e-se-consolidam-na-faixa-de-8-de-participacao-de-mercado/>>. Citado na página 18.
- ACHARIGE, Sithara et al. Review of electric vehicle charging technologies, standards, architectures, and converter configurations. **IEEE**, vol. 11, pp. 41218-41255, 2023. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10102467>>. Acesso em: 29 ago. 2024. Citado 11 vezes nas páginas 18, 19, 22, 24, 25, 29, 31, 35, 36, 39 e 40.
- ANDREW, Moserman. Are electric vehicles definitely better for the climate than gas-powered cars? **ClimatePortal**, 2022. Disponível em: <<https://climate.mit.edu/ask-mit/are-electric-vehicles-definitely-better-climate-gas-powered-cars>>. Acesso em: 30 set. 2024. Citado na página 22.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 21: Requisitos de veículos elétricos para a conexão condutiva a uma alimentação em corrente alternada ou contínua.** Rio de Janeiro, 2013. NBR IEC 61851-21. Citado na página 29.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 62196: plugues, tomadas, tomadas móveis para veículo elétrico e plugues fixos para veículos elétricos – recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 2: requisitos dimensionais de compatibilidade e de intercambiabilidade para os acessórios com pinos e contatos tubulares em corrente alternada.** Rio de Janeiro, 2021. ABNT. Citado na página 30.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **SISTEMA DE RECARGA CONDUTIVA PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS - PARTE 1: REQUISITOS GERAIS.** Rio de Janeiro, 2021. NBR IEC 61851-1. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27 e 28.
- BRENNNA, Morris et al. Electric vehicles charging technology review and optimal size estimation. **Journal of Electrical Engineering & Technology**, v. 15, n. 6, 2020. Accessed: 11 jul. 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s42835-020-00547-x>>. Citado na página 19.
- BRESOLIN, Adriano de Andrade. **O papel da conversão na mobilidade elétrica no Brasil.** 2025. Acesso em: 10 jul. 2025. Disponível em: <<https://www.osestoreletrico.com.br/o-papel-da-conversao-na-mobilidade-eletrica-no-brasil/>>. Citado na página 18.
- CCS, Electronics. Can bus the ultimate guide. Soeren Frichs Vej 38K, 8230 Aabyhoej, Denmark, 2023. Disponível em: <<https://www.csselectronics.com/pages/can-bus-ultimate-guide>>. Acesso em: 5 jun. 2025. Citado na página 48.
- CHARGE GURU. **Converter um carro a combustão em carro elétrico: como fazê-lo e a que custo?** 2023. Acesso em: 17 jul. 2025. Disponível em: <<https://chargeguru.com/pt/2023/05/17/converter-um-carro-a-combustao-em-carro-eletrico-como-faze-lo-e-a-que-custo/>>. Citado na página 18.
- DILONG NEW ENERGY TECHNOLOGY HEBEI. **SPECIFICATION SHEET.** [S.l.], 2023. Citado 6 vezes nas páginas 58, 59, 60, 61, 64 e 99.

DORLECO. Ecu vs vcu. 2024. Disponível em: <<https://dorleco.com/ecu-vs-vcu/>>. Acesso em: 12 Dec. 2024. Citado na página 41.

EMADI, Ali. **Advanced Electric Drive Vehicles**. 1ª edição. ed. New York: CRC Press, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 35.

FUELTECH. **MANUAL USUÁRIO FT450/FT550/FT550LITE/FT600**. [S.l.], 2024. Citado na página 53.

FUTURELEARN. **Exploring the World of Electric Mobility: Key Concepts and Strategies**. 2025. Disponível em: <<https://www.futurelearn.com/info/courses/exploring-the-world-of-electric-mobility-key-concepts-and-strategies/0/steps/376670>>. Acesso em: 18 jun. 2025. Citado na página 35.

GABBAR, Hossam A.; OTHMAN, Ahmed M.; ABDUSSAMI, Muhammad R. Review of battery management systems (bms) development and industrial standards. **Technologies**, MDPI, v. 9, n. 2, p. 28, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2227-7080/9/2/28>>. Citado na página 25.

GAO, Yizhao et al. Classification and review of the charging strategies for commercial lithium-ion batteries. **IEEE**, vol. 7, pp. 43511-43524, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8669683>>. Acesso em: 29 ago. 2024. Citado 4 vezes nas páginas 19, 32, 33 e 34.

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. Barramento controller area network. 2007. Disponível em: <http://www.alexag.com.br/CAN_Bus_Parte_2.html>. Acesso em: 12 Dec. 2024. Citado 4 vezes nas páginas 43, 45, 46 e 47.

HAYES, John G.; GOODARZI, G. Abas. **Electric Powertrain: Energy systems, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles**. 1ª edição. ed. Hoboken: John Wiley Sons, 2018. Citado na página 35.

IEA, Publications. Global ev outlook 2025. França, 2025. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>>. Acesso em: 1 jun. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current >16 A and 75 A per phase**. Geneva, 2004. IEC 61000-3-12:2011. Citado na página 30.

INVESTNEWS. **O Brasil virou peça-chave para as montadoras chinesas – e uma nova onda de carros vem aí**. 2024. Acesso em: 10 jul. 2025. Disponível em: <<https://investnews.com.br/negocios/o-brasil-virou-peca-chave-para-as-montadoras-chinesas-e-uma-nova-onda-de-carros-vem-ai/>>. Citado na página 18.

KAPOOR, Poorvak. A brief note on the vehicle control unit. **EVreporter**, 2023. Disponível em: <<https://evreporter.com/a-brief-note-on-the-vehicle-control-unit/>>. Acesso em: 12 Dec. 2024. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.

KHALIGH, Alireza; D'ANTONIO, Michael. Global trends in high-power on-board chargers for electric vehicles. **IEEE**, vol. 68, no. 4, pp. 3306-3324, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8633386>>. Acesso em: 29 ago. 2024. Citado 9 vezes nas páginas 25, 31, 32, 35, 36, 37, 39, 40 e 41.

LACERDA, Marina; ALVES, Tamine; NASCIMENTO, Yan. Rede can: Controller area network. **Universidade do Rio de Janeiro - UFRJ**, 2019. Disponível em: <<https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2019-1/vf/can/mensagens.htm>>. Acesso em: 12 Dec. 2024. Citado 3 vezes nas páginas 42, 43 e 44.

LUCAS RAMIRO - NPÉE. **Procedimentos para Carga e Descarga do Banco de Baterias WEG**. [S.l.], 2023. Citado na página 100.

NFE blooberg. eletric vehicle outlook 2024. 2024. Disponível em: <<https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/#:~:text=The%20Electric%20Vehicle%20Outlook%20is%20our%20annual%20long-term%20publication%20looking>>. Acesso em: 4 out. 2024. Citado na página 18.

RODRÍGUEZ, Tatiana Bermúdez; CONSONI, Flávia Luciane. Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio-íon para veículos elétricos. **scielo**, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/rbi.v19i0.8658394>>. Acesso em: 8 set. 2024. Citado na página 24.

SANTOS, William dos. **Estudo e Integração de um Powertrain Híbrido em Veículos Comerciais**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)) — Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, Santa Catarina, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufexemplo.edu.br/tcc123>. Citado na página 55.

SMITH, Grant Maloy. What is can bus (controller area network) and how it compares to other vehicle bus networks. **DEWESoft**, 2024. Disponível em: <<https://dewesoft.com/blog/what-is-can-bus>>. Acesso em: 12 Dec. 2024. Citado na página 46.

SYSTEMS, Monolithic Power. **How Battery Chemistry Affects Battery Charger IC Selection**. 2023. <<https://www.monolithicpower.com/learning/resources/battery-management-systems-how-battery-chemistry-affects-battery-charger-ic-selection>>. Acesso em: 11 jul. 2025. Citado na página 19.

TAVARES, Nicolas. Conectores de recarga: quais são os tipos que existem. **InsideEvs**, 2019. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/features/379522/conector-tomada-recarga-tipos/>>. Acesso em: 4 out. 2024. Citado na página 31.

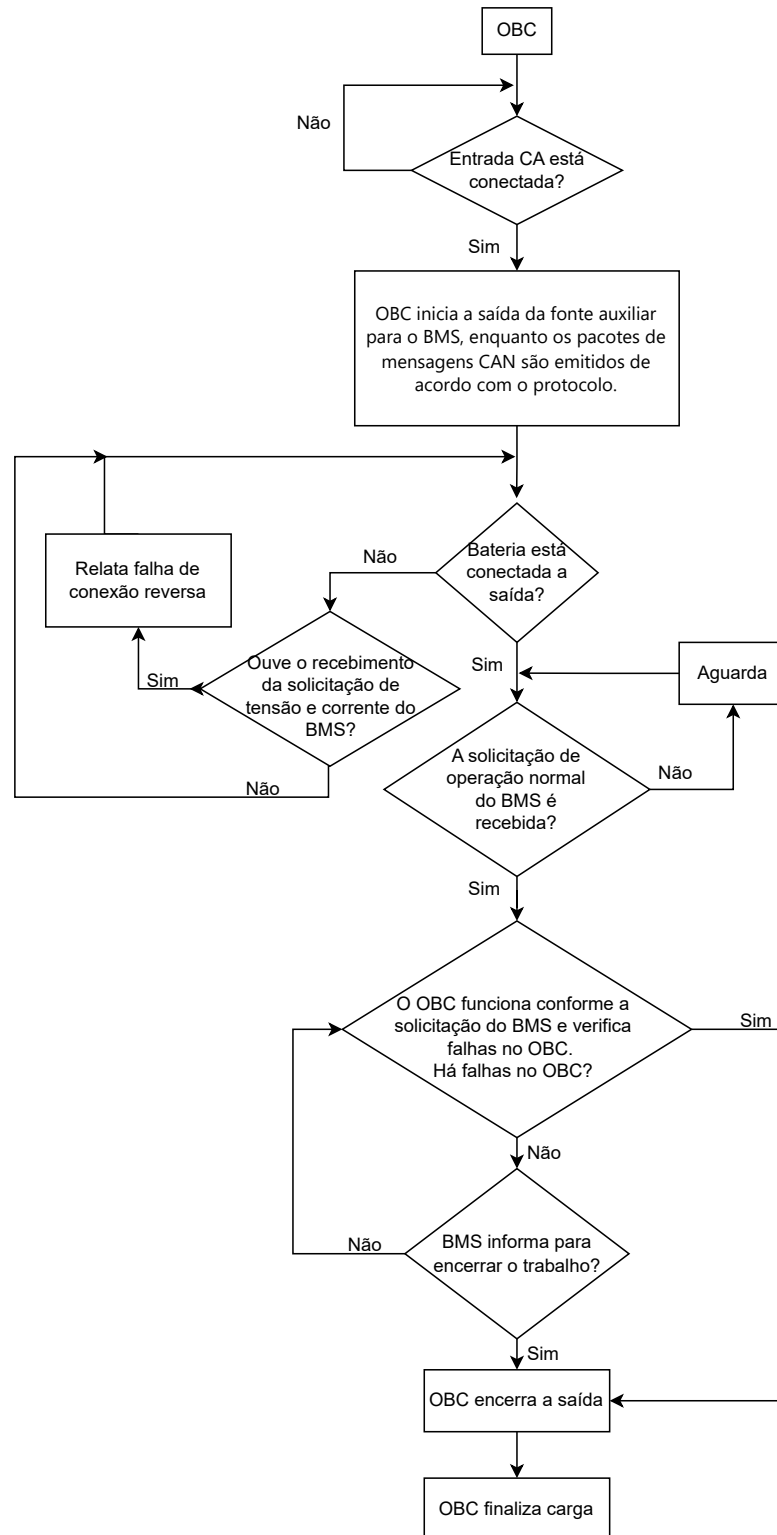
TRITEK. **Os seis principais tipos de baterias de íons de lítio**. 2024. Disponível em: <<https://tritekbattery.com/pt/the-six-main-types-of-lithium-ion-batteries/>>. Acesso em: 8 set. 2024. Citado na página 24.

UN-NOOR, Fuad et al. A comprehensive study of key electric vehicle (ev) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development. **Preprints**, vol. 1, 2017. Disponível em: <<https://www.preprints.org/manuscript/201705.0090/v1>>. Acesso em: 1 set. 2024. Citado na página 23.

WANG, Cun; ZHENG, Pengfei; BAUMAN, Jennifer. A review of electric vehicle auxiliary power modules: Challenges, topologies, and future trends. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 38, n. 9, p. 11233–11244, 2023. Acesso em: 3 out. 2024. Citado na página 34.

WEG. MANUAL PACK DE BATERIAS WEG-BPW01. [S.l.], 2024. Citado 3 vezes nas páginas 49, 50 e 70.

ANEXO A – FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DA6K6M20C



Fonte: Traduzido de Dilong New Energy Technology Hebei (2023)

ANEXO B – SIGNIFICADO DAS FLAGS DE ERRORS E WARNINGS

Errors			Warnings		
BYTE	BITS	IDENTIFICAÇÃO	BYTE	BITS	IDENTIFICAÇÃO
0	0	Cell overvoltage	0	0	High cell voltage
0	1	Cell undervoltage	0	1	Low cell voltage
0	2	Cell end of life	0	2	High cell temperature
0	3	Cell voltage misread	0	3	Low cell temperature
0	4	Cell over temperature	0	4	High LMU temperature
0	5	Cell under temperature	0	5	Low LMU temperature
0	6	Cell unmanaged	0	6	SUB communication
0	7	LMU over temperature	0	7	LMU communication interfered
1	0	LMU under temperature	1	0	High current IN
1	1	Temp sensor open circuit	1	1	High current OUT
1	2	Temp sensor short circuit	1	2	Pack resistance difference
1	3	SUB communication	1	3	High pack resistance
1	4	LMU communication	1	4	Cell resistance difference
1	5	Over current IN	1	5	High cell resistance
1	6	Over current OUT	1	6	High BMCU supply voltage
1	7	Short circuit	1	7	Low BMCU supply voltage
2	0	Leak detected	2	0	Low SOC
2	1	Leak detection ence	2	1	Balancing required (OCV Model)
2	2	Voltage Difference	2	2	Charger not respond
2	3	BMCU supply over voltage	2	3	NA
2	4	BMCU supply under voltage	2	4	NA
2	5	Main positive contactor	2	5	NA
2	6	Main negative contactor	2	6	NA
3	0	Precharge contactor	2	7	NA
3	1	Midpack contactor	3	0	NA
3	2	Precharge timeout	3	1	NA
3	3	Emergency contactor override	3	2	NA
3	4	NA	3	3	NA
3	5	NA	3	4	NA
3	6	NA	3	5	NA
3	7	NA	3	6	NA
4	0-7	NA	4	0-7	NA

Fonte: Lucas Ramiro - nPEE (2023)

ANEXO C – ANALIZADOR DE ENERGIA HIOKI



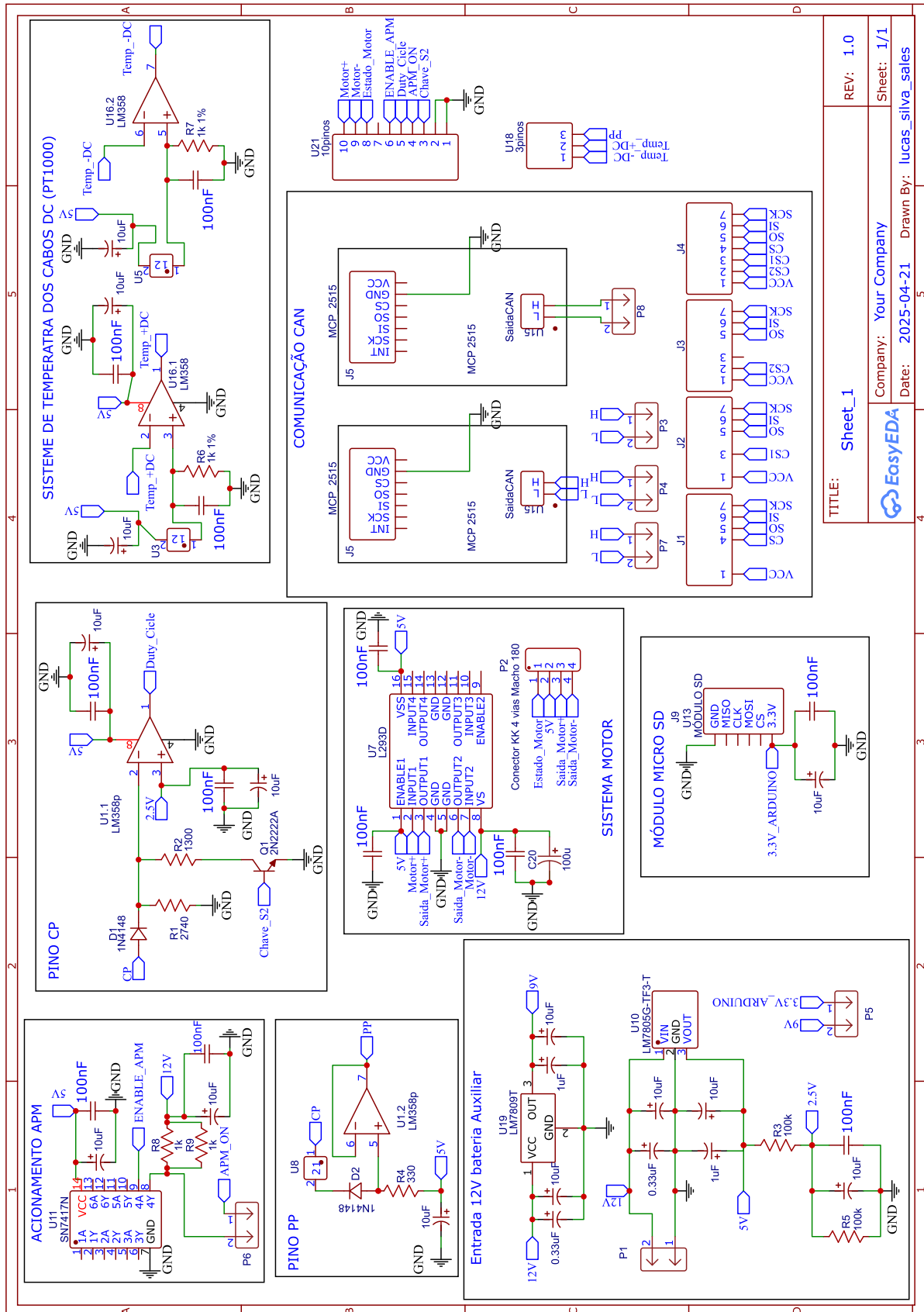
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

ANEXO D – FONTE BIDIRECIONAL RP7972A DA KEYSIGHT



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

ANEXO E – ESQUEMA GERAL DA ECU AUXILIAR

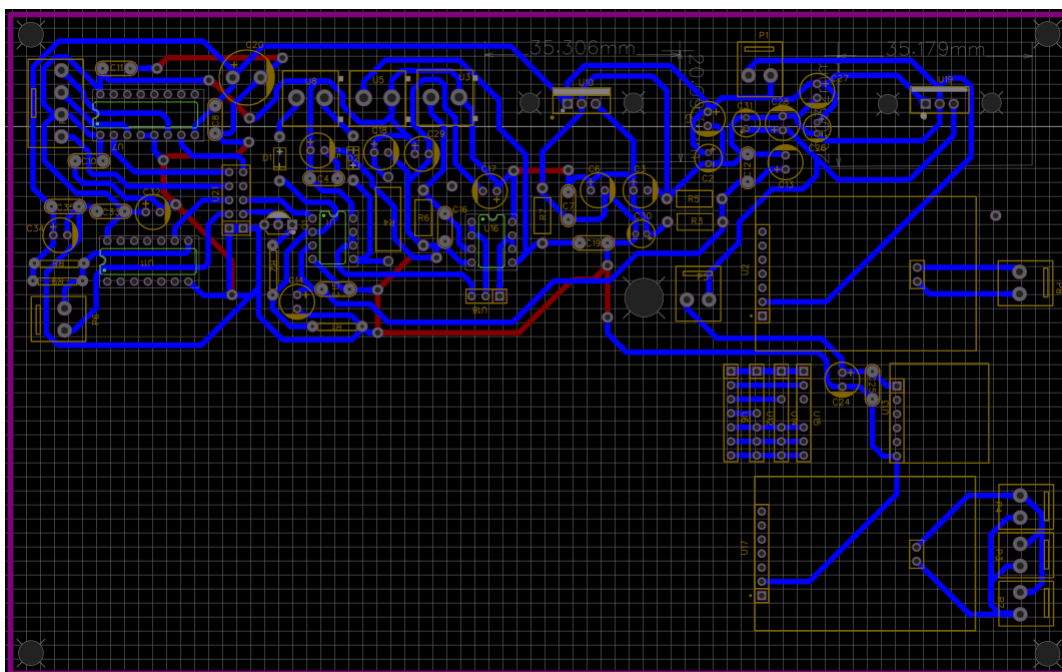


ANEXO F – ESTAÇÃO DE CARGA



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

ANEXO G – ESQUEMA DA PLACA ECU



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)